

**GRADO EN TECNOLOGIAS INDUSTRIALES (GRET)**

**AUTOR: ALDO ERTA MONTEJO**

**ESTUDIO PARA EL DESARROLLO DE UN  
MODELO DE SIMULACIÓN DEL FUTURO  
CENTRO LOGÍSTICO DE UNA EMPRESA DEL  
SECTOR DE LA DISTRIBUCIÓN DE MADERA**

**DIRECTOR: ANTONI GUASCH**

**SEPTIEMBRE 2015**

**DOCUMENTO 1- MEMORIA**

---

## ÍNDICE

<b>1. OBJETO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO .....</b>	<b>5</b>
<b>3. ALCANCE DEL ESTUDIO .....</b>	<b>7</b>
<b>4. ESPECIFICACIONES BÁSICAS DEL ESTUDIO.....</b>	<b>9</b>
<b>5. CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA.....</b>	<b>11</b>
<b>6. FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA ACTIVIDAD .....</b>	<b>13</b>
<b>7. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN ACTUAL DEL ALMACÉN DE SABADELL.....</b>	<b>21</b>
<b>8. ANÁLISIS DE LA MOVILIDAD DE LAS MERCANCÍAS EN LAS NAVES .....</b>	<b>28</b>
<b>9. SISTEMA DE GESTIÓN DEL ALMACÉN .....</b>	<b>32</b>
<b>10. CRITERIOS PARA EL DESARROLLO DEL MODELO.....</b>	<b>35</b>
<b>11. MODELADO Y SIMULACIÓN DE LA NAVE DE SABADELL EN LA ACTUALIDAD .....</b>	<b>39</b>
<b>12. PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN .....</b>	<b>63</b>
<b>13. CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>14. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>67</b>

## **1. OBJETO DEL ESTUDIO**

Este estudio consiste en el desarrollo de un modelo de simulación con el que se pretende simular la actividad del futuro Centro Logístico de una cierta empresa destinada a la distribución de madera, que se ubicará en el municipio de Polinyà, donde se almacenará, manipulará y distribuirá la madera.

En la actualidad, esta empresa posee, entre otras, dos naves ubicadas en Sabadell y Polinyà; el objetivo de esta empresa es unificar ambas naves en una, aprovechando las instalaciones de Polinyà.

El objetivo por parte de la empresa es el de efectuar un diseño experimental por simulación para determinar un mejor diseño operacional y una distribución acorde en planta, de la nueva instalación, que permitan maximizar su rendimiento.

No obstante, el estudio que nos ocupa se destinará a realizar un modelo de simulación base, sobre el cual se realizarán pruebas y se simulará la actividad que se desempeña en la actualidad en la nave de Sabadell, con el fin de tener un punto de partida sobre el que empezar el estudio y un punto comparativo, sobre el cual se compararán los resultados obtenidos en ambos casos.

Por lo tanto, la finalidad del presente estudio no es encontrar una distribución eficiente para el almacenamiento de la madera, obteniendo de este modo una correcta disposición del producto, que como consecuencia permita una fácil circulación de los vehículos que transportarán las mercancías dentro del almacén; sino que es el de realizar un primer modelo de simulación basado en la actual nave de Sabadell y trabajando con datos reales de esta nave.

Se realizará una simulación de eventos discretos de los flujos de movimientos dentro del almacén utilizando el programa de simulación *Arena*. De este modo, el modelo diseñado simulará los movimientos de todos los productos dentro del almacén. El modelo realizado simulará, a partir de datos históricos registrados por la empresa, el flujo de movimientos de los productos dentro del almacén mediante las carretillas.

Para llevar a cabo la simulación se deberá crear un modelo del sistema, que alimentaremos con datos facilitados por la propia empresa, previamente analizados, de la carga de trabajo actual. Dicho sistema será codificado

mediante el simulador *Arena* y posteriormente se procederá a su verificación, a su validación, a la experimentación y a la interpretación de los resultados obtenidos. En el modelo de simulación que se pretende diseñar, la principal carga de trabajo estará marcada por la creación y codificación de un algoritmo para el Sistema de Gestión del Almacén (SGA), que se encargará de gestionar los pedidos, las entradas de mercancías al almacén y las reposiciones.

El modelo de simulación que se pretende diseñar en el presente estudio servirá para extraer información sobre todos los movimientos efectuados por las carretillas y la mercancía, haciéndolo posible el SGA diseñado, y de esta forma poder simular, en un posterior estudio que se realizará para la empresa, dichos movimientos con otra distribución en planta, que permitirá el nuevo Centro Logístico de Polinyà.

## **2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

Actualmente, la empresa en cuestión posee su principal instalación en el municipio de Sabadell, donde almacena gran parte de su inventario y se concentra la mayor actividad de sus operaciones.

Por motivos de expansión del negocio, la empresa precisa poder disponer de una nave de mayor capacidad de almacenaje, motivo por el cual se ha propuesto trasladar su actividad principal al municipio de Polinyà, lugar donde dispone de una nave de características similares a las requeridas.

Las instalaciones de Polinyà, en la actualidad, concentran parte de la actividad de la empresa, aunque no todo el espacio del que se dispone está siendo utilizado. Este propósito de aprovechamiento de la totalidad del espacio del que se dispone, junto con la posibilidad de crecimiento y expansión en este emplazamiento hacen que estas instalaciones sean las ideales para concentrar toda la actividad. Y es que cabe la posibilidad de ampliación de la superficie utilizada, ya que se posee un terreno adjunto a dichas instalaciones. Por el contrario, las instalaciones de Sabadell están delimitadas, hecho que impide seguir creciendo en sus alrededores.

También hay un deseo por parte de la empresa de unificar ambas naves con el fin de tener controlada la actividad de ambas naves en un mismo lugar, y de este modo tener una mayor cercanía con la actividad industrial de la empresa. Otro de los motivos de esta decisión es el económico, ya que el hecho de optimizar la explotación de una nave infrautilizada y el de desprenderse de las instalaciones de Sabadell ayudará a reducir los costes asociados al mantenimiento de las instalaciones y sacarle mayor rendimiento a la nave de Polinyà.

Es en este contexto, donde se produce la necesidad de idear una distribución en planta de la instalación de Polinyà, en la que se localizarán los productos que antes se encontraban en la nave de Sabadell, además de los ya existentes en la propia nave.

Considerando que una de las claves del éxito, de este tipo de empresas, es satisfacer las demandas de los clientes de la manera más rápida posible, una correcta y eficiente distribución de los productos será imprescindible para llevar a

cabo, con la máxima celeridad y sin interferencias, los movimientos y operaciones que se produzcan en el interior de la nave.

Por lo tanto, se considera imprescindible idear una distribución en planta para las instalaciones de Polinyà, y comprobar su optimización respecto la distribución actual. Es en este escenario donde surge la necesidad de elaborar un modelo de simulación que pueda simular la operativa de la nave, a partir de una información de la cual se alimentará el simulador, como datos sobre el inventario, aprovisionamientos o pedidos de mercancía.

Debido a la complejidad a la hora de diseñar el modelo de simulación, se ha decidido centrarse en el presente estudio a dicho diseño del modelo, y en un segundo estudio se realizará la propuesta de distribución en planta y se procederá a la realización de las simulaciones, con el fin de obtener la distribución de las ubicaciones más idónea para la operativa de la empresa.

### 3. ALCANCE DEL ESTUDIO

Este estudio pretende llegar a realizar un modelo de simulación, que refleje una operativa semejante y concorde con las instrucciones y especificaciones dadas por parte de la empresa.

El modelo de simulación se realizará con el software *Arena*, y se realizará dentro de este modelo un Sistema de Gestión de Almacén cuya función será la de decidir y tomar decisiones en cuanto al flujo de mercancías dentro del almacén, con el fin de atender a los pedidos e incorporar en el almacén los aprovisionamientos de la empresa.

El modelo de simulación creado deberá permitir la simulación de unos ciertos movimientos de productos dentro del recinto de Sabadell, que recordemos es la nave que concentra la mayor parte de la actividad de la empresa. Por lo tanto, también se realizarán unos planos de la actual nave de Sabadell, con la finalidad de recrear en el simulador informático estas instalaciones. En dichos planos deberán especificarse tanto las zonas de la nave, como los pasillos y dimensiones de la nave. El hecho de modelar las instalaciones actuales de Sabadell se hace con la finalidad de, en un posterior estudio que se realizará junto con la empresa, simular unos ciertos movimientos en la actual nave de Sabadell y posteriormente comparar dichos resultados con una simulación de los mismos movimientos pero esta vez en el nuevo Centro Logístico de Polinyà, con un nuevo diseño de las ubicaciones dentro del almacén. De este modo, se podrá comparar si se habrá optimizado la distribución de las ubicaciones, teniendo en cuenta que habrá las mismas ubicaciones y del mismo tamaño tanto en un escenario como en otro, aunque dispuestas de distinto modo.

Por lo tanto, en el estudio que nos compete nos centraremos a realizar un modelo de simulación que refleje la operativa de la actual nave de Sabadell, a familiarizarnos y aprender todos los conocimientos necesarios sobre la herramienta *Arena* y a elaborar un plano sobre las actuales instalaciones de Sabadell, con el fin de plasmar en el simulador este emplazamiento.

En un segundo estudio, que se corresponderá a la continuación de este primer estudio, se realizarán los planos de las instalaciones de Polinyà, se decidirá qué

datos alimentarán al simulador, como el inventario al inicio de la simulación o los pedidos y aprovisionamientos, y se realizarán ambas simulaciones, la correspondiente a la distribución actual de Sabadell y la de la nueva distribución para la planta de Polinyà. Posteriormente se compararán ambos resultados y se irá modificando el diseño de la nueva distribución en planta hasta encontrar una que responda a las necesidades y deseos de la empresa.

La decisión de dividir este proyecto en dos estudios viene dada por el hecho que la elaboración de un modelo de simulación es una tarea que conlleva tiempo y dedicación y que, con el propósito de diseñar un Sistema de Gestión del Almacén adecuado y concorde a la situación actual, inicialmente es imprescindible obtener todos los conocimientos necesarios sobre el funcionamiento de la operativa de esta empresa con la finalidad de confeccionar un buen estudio y llegar a los resultados deseados.



#### **4. ESPECIFICACIONES BÁSICAS DEL ESTUDIO**

En cuanto a las especificaciones básicas del estudio, la mayoría de ellas se refieren al modelo de simulación que se diseñará con la herramienta informática *Arena*.

Cabe resaltar que las especificaciones que se dictarán a continuación han sido convenientemente pactadas con la empresa o bien ha sido la propia empresa quien las ha impuesto, con el fin de elaborar un estudio en concordancia con los resultados que la empresa espera de este estudio.

Las actuales instalaciones de Sabadell cuentan con una zona de carga y descarga para los camiones, que cargan o descargan producto para la empresa. Esta zona cuenta con cuatro muelles de carga/descarga, dos de ellos para aptos para furgonetas o camiones rígidos, los otros dos son de mayor extensión y también pueden ser usados por camiones con semirremolque (también llamados tráileres). En el modelo de simulación, la recreación de estos cuatro muelles no es necesaria, ya que no es de interés el estudio de las llegadas y salidas de los transportes de mercancías y la ocupación de dichos muelles, sino el flujo de movimientos de las carretillas dentro del almacén.

Por otra parte, en la actualidad las instalaciones de Sabadell acogen los siguientes tipos de productos derivados de la madera: tableros, pavimentos, cantos y otras variedades de productos. Para la elaboración del modelo de simulación, solo nos centraremos en los flujos de movimientos de las carretillas que generan los tableros y pavimentos, ya que el resto de productos tiene una demanda y presencia mucho menor, y el hecho de incluirlos solo añadiría complejidad al modelo sin reportar resultados lo suficientemente interesantes como para considerarlos como imprescindibles.

Las instalaciones de Sabadell constan con una zona empleada a la manipulación y tratamiento de la madera, por donde pasan antes de ser expedidos algunos pedidos. Respecto este hecho, en el modelo de simulación se representará esta zona y será utilizada por los pedidos que requieran de un tratamiento, aunque se fijará un determinado tiempo que será el mismo para todo tipo de artículos y no se estudiará el flujo de movimientos dentro de este emplazamiento, ya que no es de nuestro interés la actividad de esta zona de producción.

En cuanto a los aprovisionamientos, toda aquella mercancía que entre a las instalaciones para ser almacenada, según instrucciones dadas por parte de la empresa se considerarán todos los aprovisionamientos como mercancía destinada a almacenarla como reserva, y no en ubicaciones de detalle. Por lo tanto, toda llegada de material será dispuesta en ubicaciones de reserva, y se despreciarán, por otra parte, toda entrada de mercancías que correspondan a devoluciones, por el hecho de constituir un volumen despreciable en comparación con las entradas por aprovisionamiento y no constituir un interés por su estudio y análisis.

## **5. CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA**

La empresa en cuestión está dedicada a la distribución de productos de madera, para su posterior transformación. Actualmente tiene su sede en Sabadell, donde se localiza el almacén principal. También dispone, además de éste y el ubicado en Polinyà, objeto del proyecto, otros almacenes situados en Gavá, Benifaió (Valencia) y Fuenlabrada (Madrid).

Los proveedores de la empresa, que aprovisionan los almacenes, provienen de distintas partes del mundo; por otra parte los clientes, que como ejemplo podrían estar dedicados a la transformación de los tableros de madera en mobiliario, son quienes acuden a la empresa para realizar sus pedidos.

La empresa tiene a su disposición una importante flota de camiones que posibilitan la distribución de los pedidos a los clientes.

En este sentido, cabe destacar que precisamente una parte importante del éxito de la empresa radica en la rápida y eficaz entrega de los pedidos a los clientes; todo ello es fruto y se consigue gracias a la profesionalidad de cada uno de los componentes de la plantilla, así como de la localización de los almacenes, ubicados en lugares estratégicos para facilitar una rápida distribución.

Igualmente es determinante la conexión que mantienen los almacenes con las principales rutas, factor también imprescindible para llegar con la máxima rapidez a los puntos de destino, así como una adecuada y rápida preparación de los pedidos para su posterior distribución a los diferentes puntos de destino.

Pero a pesar de todo esto, el éxito no sería posible sin un amplio inventario permanente, en los almacenes, que propicie que una vez recibido el pedido de un cliente se pueda iniciar la preparación del mismo inmediatamente para su rápida distribución, y así satisfacer las necesidades del cliente y fidelizarlo.

El almacén donde se realiza una mayor actividad y donde existe la mayor variedad de productos es en el ubicado en Sabadell, aunque no es el de mayor extensión. La nave de mayor extensión es la situada en Polinyà, con el doble de superficie que la que abarca la anterior. El almacén de Sabadell también abastece de mercancías a las naves de Gavá, Benifaió i Fuenlabrada, según la demanda que se produzca.

La empresa distribuye básicamente maderas naturales (maderas frondosas, coníferas y tropicales), tableros (básicamente contrachapados y aglomerados) y pavimentos. Éstos son los tres tipos de productos, a grandes rasgos, que se almacenan y se comercializan.

En la actualidad, las maderas naturales, también llamadas macizas, se almacenan en la nave de Polinyà, aunque este almacén también se usa como almacén temporal de otro tipo de artículos, debido a la falta de espacio en la nave de Sabadell para dar cabida a toda la mercancía que debiera. En la nave de Sabadell se almacenan los otros tipos de artículos, tableros, tanto aglomerados como contrachapados, y pavimentos.

Lo que se pretende es unificar estos dos almacenes, dando cabida en un único almacén a todos estos tipos de productos, en la nave de Polinyà.

Se ha elegido esta nave ya que la superficie que abarca es considerablemente superior a la de Sabadell. También ha influido en la decisión la ubicación de ésta, pues se encuentra al lado de una eficiente red de carreteras, hecho que facilitará una cómoda conducción para los camiones de gran envergadura.

## 6. FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA ACTIVIDAD

Actualmente, como se ha dicho, la nave de Sabadell es la que concentra la mayor actividad de salidas y entradas de mercancía, haciendo, por lo tanto, la función de almacén central. Gran parte de la mercancía se recibe en este almacén y posteriormente se distribuye o bien a los otros almacenes o bien a clientes.

No obstante, las mercancías que suministran los proveedores también pueden ser enviadas directamente a los otros almacenes, sin necesidad de pasar antes por la nave de Sabadell.

A continuación se expone el método de ordenación de la mercancía dentro del almacén de Sabadell, tanto en la forma de colocación de las mercancías como en la utilización del espacio disponible.

En lo que se refiere a la forma de colocación de las mercancías, se puede decir que el método utilizado es mixto, ya que se usa tanto el almacenamiento ordenado como el almacenamiento a granel.

La colocación de gran parte de las reservas de mercancía constituye un almacenamiento desordenado, en cierto modo, y a granel ya que ningún producto tiene un sitio predeterminado donde deba almacenarse como reserva; los paquetes de reservas se almacenan en montones, en zonas concretas del almacén, habilitadas para este tipo de mercancías. En cambio, las ubicaciones de detalle o *picking* forman parte de un almacenamiento ordenado, ya que cada artículo tiene asignada una ubicación determinada.



En esta la imagen se muestran ubicaciones destinadas a reserva de mercancías. Como se puede observar, estas ubicaciones no disponen de estanterías y las mercancías están empaquetadas.



En esta imagen, en cambio, se muestran ubicaciones de detalle o *picking*. Este tipo de ubicaciones está distribuido en estanterías; cada una de las ubicaciones queda definida por la columna y por el nivel en la que se encuentra.

Respecto a la utilización del espacio disponible, lo que se debe pretender es optimizar al máximo la utilización de dicho espacio, y para ello hay que tener en cuenta tanto la superficie como el volumen.

Para favorecer la circulación, cargar y descargar con comodidad y sin limitaciones los toros necesitan un cierto ancho de pasillo, suficiente para permitir la maniobrabilidad del toro. Por lo tanto, el ancho de pasillo juega un papel importante en este caso. Actualmente, en algunas zonas de determinados pasillos del almacén de Sabadell no se pueden llevar a cabo cargas de

mercancías debido al ancho de pasillo, por lo que se tiene que cargar la mercancía desde el pasillo contiguo.

También tiene una gran influencia el volumen del que dispongamos; en el almacén de Sabadell la estructura de la nave impide tener más niveles de almacenaje en ciertas zonas; esta problemática se verá reducida cuando se efectúe el traslado a la nave de Polinyà, ya que el techo de esta última nave es más alto que el de la actual.

Para el almacenamiento exclusivo de reservas no se requieren estanterías, ya que se amontonan las mercancías una encima la otra formando pilones, en cambio las ubicaciones de *picking* sí que requieren tener su espacio asignado para cada artículo. Las unidades de detalle (o *picking*) de los diferentes artículos se almacenan o bien en estanterías o bien en estructuras compactas. Estas estanterías o estructuras están distribuidas en columnas, y al mismo tiempo cada columna por niveles; es en cada uno de estos niveles de una columna determinada donde se almacenan unidades de un mismo artículo.

El almacén de Sabadell consta de dos naves, la principal y más extensa es en la que se almacenan la mayor parte de las mercancías de esta instalación, aunque también consta de una pequeña zona habilitada para la manipulación básica de la madera.

La segunda nave, adjunta a esta primera y de menores dimensiones, alberga la zona de producción y una pequeña zona destinada a almacén. En la zona de producción es donde se transforma el producto de acuerdo a las necesidades del cliente. Esta zona de producción cuenta, entre otros mecanismos, con seccionadoras, canteadoras, perfiladoras y copiadoras de control numérico.

En esta instalación, como se ha dicho anteriormente, se encuentran almacenados los tableros, tanto aglomerados como contrachapados, y pavimentos básicamente, reuniendo en total aproximadamente unas mil novecientas referencias en inventario.

En el almacén hay que diferenciar dos tipos de ubicaciones: *las ubicaciones de detalle o picking* y las *ubicaciones de reservas* para los diferentes artículos con los que se comercializa. La mercancía, una vez llega al almacén a través de los

proveedores, se almacena tal y como llega, empaquetada (en paquetes), en las zonas específicas para reservas, si no se requiere en ese preciso momento reponer las ubicaciones de detalle de esos artículos. En estas zonas de reservas, por tanto, se deposita toda la mercancía que llega sin desempaquetarla. Un artículo no tiene asignada una ubicación para reserva concreta, el operario deja el paquete donde haya lugar disponible, eso sí, siempre y cuando se trate de ubicaciones habilitadas para almacenamiento de reservas.

Cuando se está preparando un pedido, la mercancía que se necesita se coge de las ubicaciones de *picking*, donde el producto ya no está empaquetado y se pueden cargar con facilidad la cantidad que se quiera de un artículo, con mayor rapidez.

Cuando se han agotado las unidades de un artículo en su ubicación de detalle o esta ubicación está a punto de agotarse, se repone la ubicación a partir de las unidades de reserva, una vez el operario haya realizado el desempaquetado de dichas unidades.

La ubicación de *picking* de cada artículo, por lo tanto, tiene un sitio fijo asignado, en cambio, las reservas de un artículo concreto no tienen un lugar específico asignado.

No obstante, cuando se desea reponer una ubicación de detalle de un artículo se localiza fácilmente el sitio donde se han depositado las reservas de ese artículo en concreto, ya que cuando se depositó la mercancía en la zona de reserva se ubicó ese lugar mediante radiofrecuencia.

Esta nave también cuenta con unas playas de salida, donde se depositan los pedidos que se preparan para su expedición, que se encuentran junto a la entrada desde el exterior de la nave. En cada una de estas playas se preparan los pedidos que se han asignado para una ruta determinada, y una vez acabada la preparación de pedidos para dicha ruta y se tenga en disposición un medio de transporte, se procederá a su carga y posterior distribución, en ese momento la playa de salida en cuestión quedará nuevamente disponible para la preparación de una nueva ruta.

La preparación de los pedidos para una ruta consiste en la recogida de mercancías que conforman los pedidos (que se han establecido anteriormente)



de esa ruta. En función de la ruta establecida, se entregarán los pedidos en un determinado orden; es por esto por lo que los pedidos que conforman una ruta deben estar ordenados del mismo modo que se entregarán, así pues el primer pedido que se distribuya tomará la primera posición empezando desde arriba.

Una ruta determinada solo constará de comandas hechas o bien por clientes o bien por pedidos internos, es decir, de un almacén a otro de la empresa. Esto implica que en una misma ruta no se tendrán pedidos internos y de clientes; este hecho no implica que ambas rutas sean asignadas a un mismo vehículo de transporte. Las palabras comanda y pedido cogerán un mismo significado a lo largo de la memoria, y se refiere al encargo hecho por un mismo cliente al vendedor, en este caso la empresa en cuestión.

La preparación de pedidos se puede realizar a diferentes niveles: a nivel de suelo, a bajo nivel, nivel medio y alto. La preparación de los pedidos utilizada en este almacén es a nivel de suelo. Cada pedido se prepara en una playa de salida determinada, poniendo las mercancías formando una pila. Este tipo de preparación es uno de los más económicos y el más cómodo para mover y ordenar las mercancías de una ruta.



En esta imagen se muestran las playas de salida, situadas junto la zona de acceso a la nave.

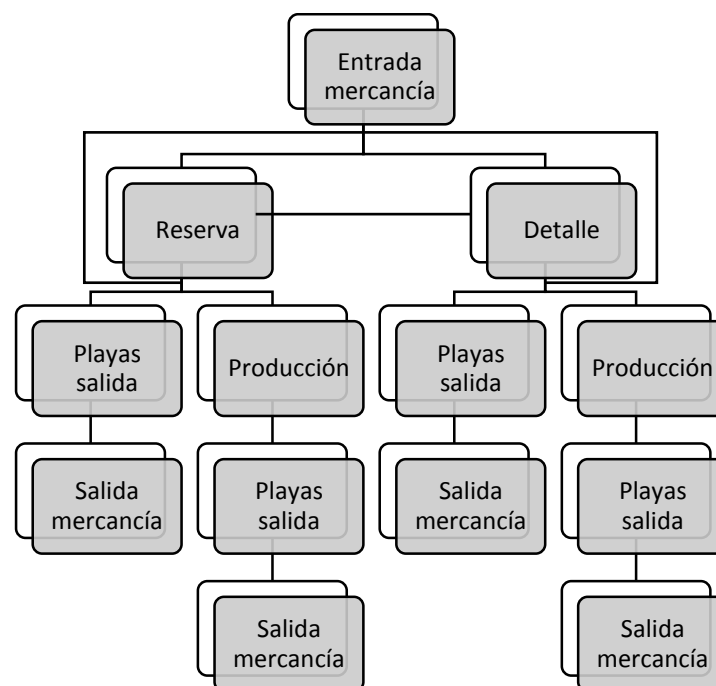
El movimiento más frecuente una vez llegan mercancías del proveedor para aprovisionar el almacén (pueden llegar mercancías no sólo de los proveedores, sino también devoluciones o pedidos internos) es depositarla en las zonas de reservas, aunque pueden haber excepciones.

Los movimientos internos que pueden producirse en el almacén son varios, como por ejemplo trasladar una carga de una ubicación de reserva a una de detalle o viceversa, llevar una carga a la zona de producción o traerla de esa

zona hacia las playas de salida, trasladar unidades de un artículo determinado de una ubicación de detalle a otra o llevar unidades de una ubicación de detalle hasta una playa de salida.

El flujo de movimientos de mercancías posible dentro del almacén es el que se expone a continuación. Las llegadas de mercancías suministradas por los proveedores pueden almacenarse o bien en zonas de reserva o en ubicaciones de detalle; una vez las mercancías han sido almacenadas pueden trasladarse de reserva a reserva, de reserva a *picking* o viceversa y de *picking* a *picking*.

Para la preparación de un pedido se pueden efectuar movimientos de reserva o de *picking* a playas de salida, y si antes de preparar una mercancía para un pedido tiene que pasar por producción, se lleva la mercancía a producción, ya sea desde zonas de reserva o ubicaciones de *picking*, y una vez acabada la manipulación se traslada la carga hasta las playas de salida.



En cuanto a la nave de Polinyà, el tipo de maderas que se almacenan son maderas macizas, compuestas por las maderas coníferas, tropicales y frondosas. En los productos almacenados en esta nave no se ha hecho ningún tipo de tratamiento ni manipulación desde el momento que se talan, salvo un

posible secado y corte para un mejor manejo de éstas. Por lo tanto, la calidad de esta madera es superior a la calidad que puedan tener las maderas almacenadas en la planta de Sabadell.

No obstante, como bien se ha dicho anteriormente, actualmente también se almacenan de forma temporal reservas de productos que deberían almacenarse en la nave de Sabadell, pero por falta de espacio no es posible.

Gran parte de la madera natural que llega a esta nave no está tratada, por lo que requiere un tiempo de secado que puede ir entre los seis y doce meses.

Esta nave está abierta lateralmente, facilitando de este modo la circulación de aire por la nave y favoreciendo el sacado de la madera. Aun así, esta nave también está dotada de unos secadores, que acortan el tiempo de secado a entre cuatro y seis semanas.

Esta nave también contiene una zona de producción y manipulación de madera, que cuenta con sierras, retestadora, moldurera, perfiladora de testas y embaladora.



Esta imagen corresponde a la zona de producción. Esta zona está dotada de extractores, encargados de retirar el polvo de madera generado durante la manipulación de la madera.

Si ahora nos fijamos en los movimientos de mercancías en las naves de esta empresa, se producen tres tipos de movimientos, que son la entrada de mercancías, la salida y los movimientos de mercancías que se producen dentro del almacén.

Las entradas de mercancías al almacén pueden ser por:

- una comanda hecha a un proveedor

- una comanda interna
- devoluciones de mercancía hechas por un cliente

Las entradas de mercancía a la nave, en general, se almacenan en las zonas de reserva, o bien en las de *picking*. También se pueden llevar a cabo salidas de mercancía, por un pedido de clientes o por un pedido interno (para suministrar otro almacén de la empresa). Si el cliente lo desea, puede recoger él mismo *in situ* la mercancía pedida en la comanda; en caso contrario, se asignará a la comanda hecha por un cliente una ruta concreta. En la preparación de estas rutas (para las salidas de mercancías), la mercancía se deposita en las playas de salida, siguiendo una ruta establecida; una vez acabada la preparación de los pedidos para una ruta se carga en un camión para ser distribuida. Si el cliente lo desea, se puede manipular o procesar la mercancía; en tal caso la mercancía antes de ser depositada temporalmente en las playas de salida, pasará por producción.

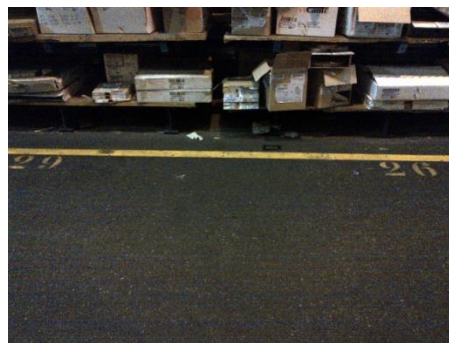
La intención es unificar estas dos naves, trasladando la actividad de la de Sabadell a la nave de Polinyà, teniendo en cuenta que las actividades que se realizan en cada nave son distintas y el ritmo de trabajo también lo es.

Esto implica idear una buena distribución de los productos y las zonas, ya que se sumará la actividad de dos naves en una. Esto requerirá remodelar la nave en la cual se centrará toda la actividad, implementando nuevas zonas con las que ahora la nave de Polinyà no cuenta, como por ejemplo las ubicaciones de los productos y la zona de producción y manipulación con la que cuenta actualmente la nave de Sabadell. Una mala distribución de estas zonas y de las ubicaciones de reserva y *picking* de los artículos provocaría una mala circulación y colapso de los toros y, por consiguiente, un incremento del tiempo de preparación de los pedidos. A parte del problema de idear una buena y eficiente distribución de la nave, también se valorará si es rentable implementar un tercer turno en la nave.

## **7. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN ACTUAL DEL ALMACÉN DE SABADELL**

El almacén de Sabadell está compuesto por dos naves, como se puede apreciar en el plano del almacén. Una primera nave, la más extensa de las dos, que se utiliza básicamente como almacén de mercancías, y otra nave adosada a la primera donde hay una zona habilitada para el almacenaje de mercancías y otra zona de producción.

Las instalaciones de este almacén están divididas por sectores o zonas, para facilitar la ubicación dentro de éstas. Actualmente el almacén de Sabadell está distribuido en seis zonas, entre las dos naves. A su vez, estas zonas están divididas en pasillos, y éstos en columnas. De este modo, la totalidad del almacén queda definido y distribuido de manera lógica, logrando un mayor rendimiento de los trabajadores y facilitando tareas de gestión de inventarios y otros.



Las columnas de cada pasillo están indicadas en el suelo, para facilitar su localización al operario.

La primera nave, donde básicamente se almacenan mercancías, consta de tres zonas, fácilmente reconocibles si se observa la sección A-A del plano. Cada lateral de esta nave conforma una zona (zonas 2 y 3), y la parte central y más extensa conforma otra zona, que corresponde a la zona 1.

La parte posterior de esta primera nave se ha habilitado para el almacenamiento de mercancías; esta parte también constituye otra zona (zona 4). Esta zona comunica ambas naves y es por donde circulan las carretillas que desean ir de una nave a otra.



Esta imagen corresponde a la zona posterior de la nave principal (zona 4), que une ambas naves.

Por último, en la segunda nave de la que se dispone pueden diferenciarse dos zonas más, una zona utilizada como almacén y otra de producción, correspondientes a las zonas 5 y 8, respectivamente.

Como ya se ha explicado a grandes rasgos, en la primera nave básicamente se almacenan mercancías y es donde también se han situado las playas de salida. Consta con ubicaciones tanto de detalle como de reserva, y concentra el mayor volumen de mercancías almacenadas de todo el almacén.

La zona 2 consta de dos pasillos (el primero y el segundo), y comunica la zona de acceso a la nave desde el exterior con la zona 4, correspondiente a la zona posterior de la nave principal. En el primer pasillo se encuentran exclusivamente ubicaciones de reservas, para el almacén de mercancías, sin ningún tipo de estanterías para ello, ya que solo se hallan reserva. En el pasillo 2 se encuentran diferentes tipos de pavimentos. Los artículos de pavimentos se almacenan en paquetes que contienen entre cuarenta y cinco y sesenta unidades, en función del modelo concreto. En este segundo pasillo, los paquetes pueden estar dispuestos en dos hileras, ya que no se rebasa el límite que define el pasillo.



Estas fotografías corresponden a la zona 2, compuesta por dos pasillos (pasillo 1 y 2 de derecha a izquierda).



La zona 3, que pertenece a la parte lateral de la nave principal adyacente a las zonas 5 y 8, está distribuida en dos pasillos. En la mayor parte de esta zona se almacenan unidades de detalle, aunque en uno de los extremos (el extremo adjunto a la puerta de acceso desde el exterior) se almacenan reservas y en el otro extremo se ha ubicado la zona de carga de las baterías de las carretillas elevadoras.



Esta imagen, tomada desde la zona 4, muestra la zona 3. Como se observa, cuenta mayoritariamente con ubicaciones de detalle en los dos pasillo por los que se compone y una zona de carga de baterías para las carretillas.

La zona que ocupa una mayor extensión es la zona 1, en la que se concentra el mayor flujo de movimientos. En esta zona, aparte de contener tanto ubicaciones de *picking* como de reserva, también cuenta con playas de salida y maquinaria para manipular la madera.

La zona 5 es la que se encuentra adjunta a la zona de producción; esta zona está formada únicamente por ubicaciones de *picking* de tableros, aunque por cuestiones de espacio a veces se depositan temporalmente reservas. Cuenta con seis pasillos y cinco estanterías, en las que se distribuyen las diferentes ubicaciones de detalle de los productos.



Esta imagen muestra la zona 5, compuesta por ubicaciones de detalle.

La entrada de acceso a esta zona también se utiliza para llegar hasta la seccionadora de la zona de producción, donde se deposita la mercancía para ser manipulada en la seccionadora. Por tanto, las mercancías que tienen que pasar por la seccionadora entrarán por el acceso de la zona 5; si la mercancía requiere ser manipulada, pero no por la seccionadora sino por otro tipo de maquinaria, como por la canteadora, se entrará por el acceso propio que tiene la zona de producción, que tiene asignada la zona 8.



Este fotograma muestra los dos accesos a la zona 5 y a la zona de producción (zona 8); el primero de los accesos corresponde a la zona 5.



Esta fotografía, tomada desde la zona 5, muestra la seccionadora, por la que se comunica la zona 5 con la zona de producción.

En la nave principal, formada por las zonas 1, 2, 3 y 4, es donde se almacenan la mayor parte de toda la mercancía que se encuentra en estas instalaciones de Sabadell. Se puede apreciar como cada una de las zonas está dotada de dos accesos, para facilitar la circulación y el acceso a dichas zonas sin causar colapsos. También se observa que para la mayoría de los pasillos de esta nave se tiene dos vías de acceso; este hecho aunque pueda parecer irrelevante, permite mejorar el flujo de movimientos de los vehículos. El hecho que dicha nave sea diáfana ha permitido idear esta distribución de pasillos y estanterías,



que favorece la circulación de los vehículos en su interior y mejora el rendimiento de los operarios

Si ahora nos centramos en la disposición de los tipos de ubicaciones y de los productos dentro de esta nave, nos fijamos que en el centro de la nave se concentra la mayor parte de ubicaciones de reserva, y que en las partes más alejadas del centro de la nave se encuentra la mayor parte de ubicaciones de detalle o *picking*. Cerca de la maquinaria que se encuentra en esta nave principal (zona 1) también se encuentran ubicaciones de detalle, para perder el mínimo tiempo posible en el transporte de las mercancías desde sus ubicaciones hasta la estación de producción. También cabe resaltar que las playas de salida se hallan junto a la zona de acceso al recinto, para no interferir con los movimientos internos que se puedan realizar en la nave. Las ubicaciones de detalle están ubicadas preferentemente a poca distancia de estas playas de salida, para poder preparar los pedidos con la mayor rapidez e interfiriendo lo menos posible en lo que a circulación se refiere.

A continuación se han anotado observaciones y consideraciones que deberán tenerse en cuenta para la nueva distribución de la planta de Polinyà. Entre estas observaciones se incluyen tanto la distribución de espacios de la nave como la operativa y circulación de los vehículos montacargas.

Se observa que las playas de salida están ubicadas cerca de la entrada al almacén, para favorecer una rápida salida de la mercancía, sin congestionar la circulación por el resto de la nave. Esto hace que la posterior salida de las mercancías depositadas en estas zonas no obstruya la circulación en el interior de la nave; deberá tenerse en cuenta para la realización de la nueva distribución.

Las ubicaciones de *picking* deben estar en estanterías, con posibilidad de montar varios niveles. En el caso de la nave de Sabadell la altura de las estanterías viene limitada por la estructura de la nave, aunque las carretillas elevadoras también tienen sus limitaciones, y no es conveniente incrementar mucho más la altura de las estanterías.



En esta imagen se muestra como la estructura de la nave impide que las mercancías tomen alturas más altas que las que permite la propia estructura.

Las zonas donde únicamente se almacenan reservas no precisan de estanterías, ya que estas mercancías de reserva se amontonan formando pilas. Este método de almacenamiento a veces resulta incómodo e ineficaz, ya que comporta unas consecuencias que se citarán en el siguiente punto. A parte, si el pasillo no es lo suficientemente ancho, la manipulación de estas reservas es complicada e incluso imposible; éste es el caso de la última parte de los pasillos 6/7 y 8/9.

Al pasar una mercancía de reserva a *picking*, antes de depositarla en la ubicación de *picking* hay que desempaquetarla, ya que en las ubicaciones de reserva la mercancía está tal y como entra al almacén, precintada. Cuando se requiere cargar un paquete de reserva para, por ejemplo, reponer la ubicación de *picking* de un artículo determinado, y este paquete no es el último de su pila, hay que descargar los de arriba uno a uno hasta poder coger el requerido, y luego volver a poner en su sitio los anteriores. Así pues, si un paquete de reserva se encuentra en la parte inferior de una pila, hay que descargar el resto, depositarlos temporalmente en medio del pasillo, coger el que se desea, y posteriormente volver a colocar en su sitio los paquetes movidos.

Dependiendo las medidas de la mercancía que hay que cargar, la distancia entre dientes del toro será una u otra. Esto hace que, cuando se requiera cambiar dicha distancia, el operario tenga que ajustar esa distancia manualmente.

En la nave de Sabadell los puntos más conflictivos, es decir, los más restrictivos desde el punto de vista de los movimientos de las carretillas son los pasillos del almacén, ya que son estrechos y con poco espacio de maniobra. Cuando se cruzan dos toros en uno de estos pasillos, si ambos van descargados no hay

problema de circulación, pero si uno de ellos va cargado, no podrán cruzarse. En ocasiones, una maniobra que efectúan los operarios es la de alzar la carga del toro cargado para poder cruzarse, aunque es poco habitual. Para la nueva distribución de la nave de Polinyà el ancho de cada pasillo deberá tenerse en cuenta para la posterior circulación de las carretillas y de las mercancías que circularán por ellos. Gran parte de las estanterías y estructuras aún deben montarse en Polinyà, ya que para el uso que se le da actualmente a esta planta no se requieren estanterías como las que pueda haber en la nave de Sabadell; esto hace que se tenga mayor libertad para idear la distribución en planta.



Esta fotografía muestra la distribución de una parte de la zona 1. En este fotograma se pueden apreciar los estrechos pasillos y la verticalidad de las mercancías almacenadas, necesarios para un máximo aprovechamiento de la superficie y volumen disponibles.

## **8. ANÁLISIS DE LA MOVILIDAD DE LAS MERCANCÍAS EN LAS NAVES**

En lo que se refiere al manejo de las cargas, las cargas pueden ser transportadas de dos maneras, en sentido longitudinal o en sentido transversal. Cada uno de estos manejos es más eficiente para un tipo concreto de cargas. Para las cargas largas es más eficiente trabajar con carretillas de carga lateral, en cambio, para las cargas de tamaño más reducido, es mejor trabajar con carretillas de carga frontal.

Actualmente, En la nave de Polinyà gran parte de las cargas requieren ser manejadas con carretillas de carga lateral, también llamadas retráctiles, ya que en dicha nave se almacena madera maciza de gran longitud. Esto hace que con una carretilla lateral se pueda ahorrar mucho espacio para el pasillo, ya que sólo se necesitará el ancho de pasillo correspondiente a la suma de la anchura de la carretilla y el ancho de la carga.

En cambio, en la nave de Sabadell se almacenan mercancías de tamaños más reducidos, por lo que la mejor opción para el manejo de estas son las carretillas contrapesadas, de carga frontal. Este tipo de carretillas cogen frontalmente la carga y se desplazan con la carga puesta transversalmente, esto implica que el pasillo debe ser al menos tan ancho como la longitud de la carga, aunque realmente también se necesita un espacio complementario para poder efectuar el giro de la maniobra.

Cuando se unifiquen los dos almacenes, las instalaciones deberán contar con ambos tipos de carretillas, tanto las retráctiles como las frontales, ya que en el almacén se acumularán todos los tipos de artículos con los que la empresa trabaja actualmente. Esto no supone que todos los pasillos con los que se cuente tengan que admitir ambos tipos de carretillas, solo en esos pasillos (si acaba habiéndolos) en los que se tenga tal variedad de productos que se requiera los dos tipos de carretillas.



Este es una carretilla de carga frontal, con las que se trabajan actualmente en las instalaciones de Sabadell.

Estas carretillas contrapesadas poseen un brazo telescópico con dos horquillas móviles.

El ancho mínimo que debe hacer un pasillo viene fijado por las dimensiones de las carretillas, así como las dimensiones de los productos con los que se trabaja. En función del tipo de carretilla de la que se trate, las dimensiones que se deberán tener en cuenta serán unas u otras.

Recordemos que en las instalaciones de Sabadell se trabaja con carretillas contrapesadas de carga frontal y, en cambio, en la nave de Polinyà las carretillas son bilaterales, esto es, este tipo de carretillas a diferencia de las de carga frontal coge la carga longitudinalmente.

Para el caso de las carretillas de carga frontal, la maniobra que se efectúa durante la carga de una mercancía es la que se expone a continuación. La carretilla se acerca por el pasillo hasta la mercancía que desea cargar, una vez ha llegado hasta la carga se efectúa un giro hasta ponerse totalmente de cara con dicha carga, de manera perpendicular; de este modo ya se puede cargar la mercancía acercándose lo máximo posible hasta la carga (ya que el brazo telescópico no es retráctil) y una vez hecha la carga se hará otro giro de noventa grados hasta perfilarse en la misma dirección que la del pasillo.

Para el caso de las carretillas bilaterales, a diferencia del caso anterior, no se requiere perfilarse perpendicularmente (de cara) a la mercancía para cargar, sino que en este caso la carga se efectúa de lado (ya que las horquillas de la carretilla están dispuestas en uno de los lados del vehículo, no adelante). Por lo tanto, en este caso basta con situar la carretilla al lado de la carga, en la misma dirección que el pasillo, acercarse hasta la mercancía y efectuar la carga. Este tipo de carretillas es eficaz cuando se trabaja con mercancías de gran longitud (por ejemplo listones de gran longitud o troncos) ya que la mercancía se

transporta longitudinalmente, con la directriz de la mercancía en la misma dirección que las del pasillo.

Las dimensiones que hay que tener en cuenta para las carretillas de carga frontal son el largo de carretilla. Esta longitud fijará el ancho mínimo que deberá tener el pasillo; no obstante, todos los productos con los que se tratan superan en anchura la longitud de las horquillas, por lo que también se deberá tener en cuenta la longitud de la carga que sobresale de las horquillas de la carretilla. Esto hace que el ancho mínimo de pasillo sea la suma del largo de la carretilla sin contar la longitud de las horquillas más la anchura de la carga. Adicionalmente, se deja un margen a ambos lados del pasillo de alrededor de veinte centímetros. Si ahora tenemos en cuenta la totalidad de un pasillo, el ancho mínimo de pasillo estará fijado por las dimensiones de la carretilla y por la anchura máxima de entre todos los productos con los que se cuente en dicho pasillo.

Todas las mercancías con las que se trabaja sobrepasan frontalmente las horquillas, por lo que para el cálculo del ancho de pasillo no se tendrá en cuenta la longitud de las horquillas, sino el ancho de las cargas.

Este razonamiento se ha hecho suponiendo que el largo de la carga siempre es menor que la longitud calculada en el punto anterior (es decir, la suma del ancho de carga y el largo de la carretilla, sin contar la longitud de horquillas), lo cual se cumple para todos los productos con los que se trabaja. Por lo contrario, si el ancho de pasillo calculado tuviera un valor inferior al del largo de la mercancía, esta última longitud nos fijaría el ancho mínimo de pasillo.

Para las carretillas bilaterales, las dimensiones que hay que tener en cuenta son el ancho de la carretilla, teniendo en cuenta la longitud de las horquillas. Esta longitud fijará el ancho de pasillo mínimo, en caso que el ancho de la mercancía no sea mayor que la longitud de las horquillas y, de este modo, no sobresalga la mercancía frontalmente. En caso que la carga supere la longitud de las horquillas, también se deberá tener en cuenta para fijar el ancho de pasillo. En este caso también se deberá tener en cuenta la máxima anchura para las mercancías que se quiera tener, de tal modo que una vez dimensionado el

pasillo no se podrán almacenar mercancías de mayor anchura que la fijada anteriormente.

Las carretillas utilizadas en la nave de Polinyà son la Hyster modelo E4.00XL y la Linde modelo E 30, con un total de seis carretillas Hyster y tres del fabricante Linde.

La carretilla del fabricante Hyster, de modelo E4.00XL, es una carretilla eléctrica, con una capacidad nominal de 4000 Kg; la longitud hasta el respaldo de horquillas es de 2,4 metros y la longitud de las horquillas es de 1,2 metros. La altura máxima a la que se puede cargar o descargar, que pertenece a la altura máxima para las horquillas, es de 6,00 m. La velocidad de traslación sin carga es de 17,3 Km/h, y con carga es de 15,9 Km/h. La velocidad de elevación del brazo de esta carretilla sin carga es de 0,60 m/s y con carga es de 0,37 m/s, y para el descenso sin carga la velocidad es de 0,48 m/s y con carga de 0,53 m/s.

La carretilla Linde modelo E 30 también es eléctrica, con una capacidad nominal de 3000 Kg; la longitud hasta el respaldo de horquillas es de 2,387 metros y la longitud de las horquillas es de 1 metro. La altura máxima a la que se puede cargar o descargar, que pertenece a la altura máxima para las horquillas, es de 6,605 m. La velocidad de traslación sin carga es de 16 Km/h, y con carga es de 15 Km/h. La velocidad de elevación del brazo de esta carretilla sin carga es de 0,55 m/s y con carga es de 0,31 m/s, y para el descenso tanto sin como con carga la velocidad es de 0,55 m/s.

## **9. SISTEMA DE GESTIÓN DEL ALMACÉN**

En un almacén de estas características es fundamental llevar una buena gestión del inventario a cada instante. El sistema informático con el que cuenta la empresa posee en su base de datos en mapa del almacén, con todas las zonas, pasillos, columnas y niveles. Cada una de estas ubicaciones está codificada, mediante un sistema de codificación.

En esta base de datos también se ha indicado para cada ubicación el artículo en concreto que se debe almacenar, para el caso de ubicaciones de detalle; también el número máximo de unidades que se pueden almacenar en cada una de las ubicaciones.

Cuando se producen entradas de mercancías en la nave, el sistema determina donde debe ir cada una de las mercancías, teniendo en cuenta las restricciones y parámetros que se hayan dado a dicho sistema. Una vez puesta la mercancía en la ubicación correspondiente, se actualiza el stock y el mapa del almacén.

Así pues, cuando se producen salidas de mercancías se realiza el mismo procedimiento pero, esta vez, a la inversa. Una vez la mercancía se saca de una ubicación, es actualizado el mapa del almacén, y cuando finalmente es expedida la mercancía se actualiza el stock de la nave.

Para la gestión y control del mapa del almacén, el sistema está dotado de radiofrecuencia; de este modo mediante este sistema los operarios informan de cada movimiento efectuado, actualizando al mismo tiempo el mapa del almacén. Esta tecnología conecta por radio la carretilla con el ordenador central, de este modo se actualizan automáticamente las ubicaciones y el inventario de la nave.

Cada ubicación, ya sea de detalle o reserva, está codificada con un código de barras, donde se indica la siguiente información: zona en la que se encuentra la ubicación, pasillo y columna de la ubicación. Colocada en el suelo, delante de cada columna, se encuentra una etiqueta con la imagen de su código de barras, y para ubicaciones de detalle también en cada uno de los niveles. El nivel de la ubicación se tiene que especificar manualmente; si se trata de una zona de reserva que no contiene estantes, el nivel siempre será el primero, ya que no cuenta con más niveles.





Esta imagen muestra el código de barras para las ubicaciones que se encuentran en la zona 2, pasillo 2, columna 14 y el primer nivel. Si la etiqueta muestra el nivel, significa que solo cuenta con un único nivel.



Esta etiqueta, en cambio, no muestra el nivel, por lo que dicha columna estará compuesta por más de uno. En la etiqueta, el número de columna está encasillado.

Cuando se desea reponer o quitar mercancía de una determinada ubicación de este tipo, para el código de barras asignado a esa ubicación se añadirán o quitarán unidades, respectivamente. El operario cuando coge de una ubicación de detalle unas unidades concretas, avisa de la operación por radiofrecuencia, descifrando el lugar de la ubicación mediante un lector de códigos de barras, y poniendo manualmente el nivel de la ubicación y las unidades cogidas.

Así pues, si se produce un cambio de unidades de una ubicación de detalle a una de reservas, el procedimiento será el mismo; el operario al coger las unidades de la ubicación de detalle avisará mediante radiofrecuencia que se han cogido tales unidades de la ubicación que ha indicado leyendo el código de

barras, y una vez depositada la mercancía en la ubicación de reserva se indicará de nuevo dicha operación.

Si una mercancía debe pasar por producción antes de ser depositada en la playa de salida para su posterior expedición, se le asigna una etiqueta con un código de barras nuevo, que lleva información sobre el tipo de tratamiento que se le debe hacer en primer lugar. Una vez acabado el tratamiento, si debe pasar por otro se le asigna una nueva etiqueta, y así sucesivamente. Esto se sabe ya que en la zona de producción se encuentra un ordenador, conectado a la base de datos del ordenador central, donde se consulta si la mercancía debe pasar por otro proceso productivo o no.

Cabe resaltar que una ubicación de *picking* no está predeterminada para un solo tipo de artículo, una ubicación dada puede albergar más de un producto a lo largo del tiempo. Es decir, ningún artículo tiene asignada una ubicación de *picking* fija; la ubicación de *picking* que ocupa un artículo determinado es o bien porque se libero anteriormente dicha ubicación o porque desde el comienzo ese artículo ha ocupado dicha ubicación. Mientras un artículo tenga unidades en una ubicación de *picking* dada, dicha ubicación queda reservada para ese artículo. Si ocurre que dicha ubicación se vacía, no quedando ninguna unidad allí para ese artículo, la ubicación se libera en ese instante. Cuando una ubicación de *picking* queda libre, puede ser ocupada por cualquier artículo que requiera de una de estas ubicaciones. Una vez oro artículo pasa a ocupar la ubicación anteriormente liberada, queda nuevamente ocupada y, por lo tanto, reservada para solo ese artículo.

## 10. CRITERIOS PARA EL DESARROLLO DEL MODELO

El modelo que se realizará sobre el flujo de movimientos de mercancías se hará para la nave de Sabadell, teniendo en cuenta la misma distribución en planta que la actual y la misma demanda. En este primer estudio se incluye la codificación del modelo diseñado al simulador utilizado. De este modo, se deberá codificar dentro de este simulador el SGA que se codificará en Visual Basic y se integra en la herramienta *Arena*.

Otra parte que deberá incluirse dentro de la realización de este modelo de simulación será la disposición actual de las instalaciones de Sabadell, por lo que previamente se realizarán unos planos utilizando la herramienta AutoCad, y luego se utilizarán en el modelo de simulación. Este dibujo de la planta de las instalaciones de Sabadell será de gran utilidad para diseñar los recorridos y paradas que realizarán las carretillas dentro del modelo simulado, en el flujo de mercancías dentro del almacén.

Este estudio previo, aparte de dar información que será utilizada en un posterior estudio que se llevará a cabo junto con la empresa para idear la distribución de las mercancías del almacén de Polinyà, ayudará a encontrar un buen método de trabajo y de análisis de datos, a familiarizarse con las herramientas de trabajo y a una correcta interpretación de los resultados.

Ayudándonos de esta información, se ideará la nueva distribución para las instalaciones de Polinyà, unificando la nave de Sabadell junto a ésta, en un posterior estudio que se realizará. A partir de esta nueva distribución hipotética, se realizará el modelo y se codificará en el programa de simulación *Arena*, con tal de analizar posteriormente el flujo de movimientos en dichas instalaciones.

Hay que resaltar que el modelo de simulación que se desarrollará será alimentado por una serie de datos, con los que arrancará dicha simulación y con los que irá trabajando a lo largo de la simulación. Estos datos se recopilarán para el segundo estudio que se llevará a cabo, y serán extraídos de un histórico de datos que la empresa archiva, por lo que serán datos reales. Estos datos que alimentarán al simulador serán los siguientes: datos de aprovisionamientos, datos de pedidos (tanto pedidos internos como a cliente), datos sobre la

distribución y características de las ubicaciones, datos sobre las dimensiones de los distintos artículos y información sobre el inventario de arranque.

## OBJETIVO

Lo que se pretende con este estudio es desarrollar un modelo de simulación con el que se pueda simular una información concreta, que será facilitada por la empresa y se corresponderá con unos datos reales de la empresa. Para el desarrollo de un buen modelo de simulación se requerirá de unos conocimientos avanzados en cuanto a la herramienta *Arena*, también conocimientos sobre codificación en Visual Basic y ser un buen conocedor de la operativa de la empresa, con el fin de idear un buen sistema de gestión, que se asemeje a la actividad real de la empresa. Para llegar al objetivo propuesto, se deberá seguir una metodología rigurosa, que permita ir paso a paso en la construcción y realización de este modelo, y poder detectar posibles errores a tiempo para poder corregirlos y llegar así a nuestro propósito.

A continuación se expone la metodología que se deberá seguir, con el fin de realizar un buen estudio y llegar hasta los objetivos planteados anteriormente.

### Paso 1

Para empezar, se deberá entender el funcionamiento de la empresa, comprender cuál es su actividad. Este ejercicio es de totalmente necesario para realizar posteriormente un buen modelo. Es de vital importancia, con el fin de obtener los conocimientos sobre la actividad de la empresa, conocer la distribución del almacén, los productos con los que se comercializa, la operativa que se sigue para cada una de las actividades que se pueden dar, dimensiones y estructura de las naves, entre otros muchos aspectos.

### Paso 2

Una vez se haya entendido todo el funcionamiento de la empresa, se deberán marcar unos objetivos claros y concisos, a partir de los cuales se continuará desarrollando el estudio en cuestión. Se deberán pautar una serie de

especificaciones junto con la empresa, con el propósito de acotar el trabajo e identificar las necesidades de la empresa.

### Paso 3

Cuando ya se hayan definido los objetivos, se proseguirá a formular la representación de un modelo basado en el sistema. Para ello se realizarán pequeños modelos y pruebas con las redes coloreadas de Petri, representando el flujo de movimientos que se producen en el almacén. De este modo, se entenderá más claramente el comportamiento y funcionamiento de la herramienta *Arena*, ya que este programa informático trabaja con entidades como las que pueda haber en cualquier red de Petri, que van interactuando y desarrollando distintas acciones en los distintos puntos por los que van pasando.

### Paso 4

El cuarto paso se corresponderá al de diseñar el modelo de simulación mediante la herramienta informática *Arena*.

### Paso 5

El modelo codificado deberá ser verificado, para comprobar que plasme con total realidad la actividad real del almacén. Esta comprobación se hará simulando el modelo en puntos críticos o complejos de éste, y observando que los resultados obtenidos se corresponden con la realidad. Para poder llevar a cabo esta verificación y validación, el modelo que se representará pertenecerá a la nave de Sabadell en la actualidad; de este modo se tendrán datos reales y las comprobaciones serán más rigurosas.

### Paso 6

Una vez hecha esta verificación, se validará el modelo; esta validación consistirá en simular un caso real y observando que los resultados obtenidos son los

mismo que los de la realidad. De este modo nos aseguramos que el modelo sea un reflejo de la realidad y se comporte como tal.

### Paso 7

Por último, una vez se hayan adquirido los objetivos propuestos, se redactarán las conclusiones a las que se ha llegado y se documentará todo el procedimiento que se ha seguido.

## 11. MODELADO Y SIMULACIÓN DE LA NAVE DE SABADELL EN LA ACTUALIDAD

El primer estudio que se modelará y se codificará con el simulador *Arena* es el que pertenece al estado actual de la nave de Sabadell. Esta primera simulación con *Arena* servirá para verificar que el método utilizado para la realización del modelo sea el correcto y para validar los resultados que se obtengan, a partir de los datos reales que se conocen. Se utilizarán las mismas órdenes que las del histórico, y los movimientos de las carretillas serán los mismos que en la realidad. De esta manera también se podrá validar que la gestión del inventario hecha con la simulación sea la correcta y que los recorridos establecidos sean los correctos. También se observará que no haya ninguna parte del modelo mal planteada, o que las órdenes se ejecuten tal y como se quiere.

Para el estudio tanto de la nave de Sabadell en la actualidad como para la nueva instalación que se albergará en Polinyà se simplificarán los productos con los que se trabajará. De este modo, solo se tendrán en cuenta los productos que concentren la mayor parte de la actividad de la empresa, prescindiendo de los artículos en desuso y poco demandados, ya que no aportarían conclusiones relevantes y de importancia. Los artículos con los que se contará, de los que hay actualmente en la nave de Sabadell, serán los tableros y los pavimentos, que son los tipos de artículos más demandados. Para el caso de los tableros, se han clasificado según su tamaño (el largo y el ancho), de este modo se pueden distinguir fácilmente unos de otros y se podrá comprobar con rapidez si un tablero cabe o no en una ubicación de *picking* determinada, ya que dichas ubicaciones están delimitadas al mismo tiempo por otras ubicaciones que no pueden ser invadidas. La clasificación en función de sus dimensiones para los tableros es la siguiente: para longitudes (a lo largo) de 2500 mm, los anchos pueden ser de 1250, 1530, 2100 mm; 2520x1270 mm; 2600x2100 mm; para longitudes (a lo largo) de 2800 mm, los anchos pueden ser de 1220, 1310 mm; 2850x2100 mm; para longitudes (a lo largo) de 3050 mm, los anchos pueden ser de 1250, 1270, 2100 mm; para longitudes (a lo largo) de 3100 mm, los anchos pueden ser de 1530, 1830 mm; 3550x1220 mm, para longitudes (a lo largo) de 3660 mm, los anchos pueden ser de 1000, 1525, 1850, 2100 mm; 4100x2100 mm; 4200x1300 mm. Para el caso de los pavimentos, se clasificarán según su

tipo; así pues se tendrá Adore, Comp. Pavimento, Floorline, Karelia, Medfloor y pavimento.

Esta primera simulación aportará datos relevantes que deberán ser analizados y utilizados posteriormente para idear la distribución en planta de la nave de Polinyà. Los resultados de este estudio previo darán información de las zonas más concurridas, de los puntos donde se producen colas y colapsos y de los tiempos de carga, descarga y desplazamiento de las carretillas elevadoras.

El modelo para esta nave contará con todos los posibles recorridos partiendo de una ubicación dada, de este modo se tendrá total libertad en cuanto al de flujo de movimientos, siempre y cuando sean posibles y tengan coherencia.

Las restricciones que hay que tener en cuenta en este modelo, con el fin de plasmar en la simulación la mayor realidad posible, son las que se citan a continuación

En los pasillos pueden cruzarse dos carretillas, siempre y cuando vayan vacías. En cambio, una carretilla cargada no podrá cruzarse en un pasillo con otra, aunque vaya descargada. Esta restricción sirve tanto para la zona 1, como para la 2, la 3 y la 5 en todo el recinto. Para la zona que conecta la nave principal con la zona de producción y la zona 5 hay libertad de movimientos.

Esta restricción no es válida para los pasillos comprendidos entre el 15 y el 19, ambos incluidos, ya que estos pasillos son muy estrechos e imposibilita el paso de más de una carretilla.

Para la carga y descarga de mercancías se necesitará un espacio mínimo de maniobra, y en ese instante no podrán cruzar esa zona otras carretillas. Este espacio mínimo de maniobra variará en función del tipo de mercancía con la que se trate y de la ubicación. De este modo, se necesitará un espacio mayor para manipular reservas que artículos de detalle, ya que las reservas generalmente se depositan a granel unas encima de las otras, sin ser puestas en estanterías; cuando se desea coger un paquete de reserva se tienen que quitar los de encima suyo y depositarlos momentáneamente en medio del pasillo. En cambio, esto no ocurre con la carga de mercancías en las ubicaciones de detalle, ya que en este caso los artículos están ordenados y separados en estantes.



Si se tienen en cuenta estas restricciones, cuando se efectúa una carga o descarga en una zona en concreto se imposibilita el cruce de otras carretillas por esa zona, hasta que se haya efectuado la maniobra y la carretilla haya dejado esa zona.

Las ubicaciones de detalle tienen un máximo de unidades que pueden almacenar; dependiendo del artículo que se almacene este número máximo de unidades de detalle variará. Esto también ocurre con las zonas para reservas, con un máximo establecido de paquetes que se pueden depositar en un mismo montón, que viene limitado por la altura de éste.

Una vez definidas estas restricciones del sistema, se expone el modo en que estará estructurado el modelo con el que trabajaremos. La primera parte del modelo tiene como función la de crear las entradas del modelo y clasificarlas según unos criterios que se expondrán más adelante.

La primera acción que hará el modelo será la de crear unas entradas, que para nosotros serán las órdenes, que posteriormente se deberán ejecutar. Se pueden distinguir tres tipos de entradas: los pedidos (salida de mercancía), las entradas de mercancía y las devoluciones. Para definir cada uno de estos acontecimientos, será necesaria una información concreta, que se muestra a continuación.

Para el caso de los pedidos, hay que distinguir dos tipos, los que son recogidos por los clientes en el propio almacén y, por lo tanto, no requieren de su distribución, y los que sí son distribuidos. En el presente estudio nos centraremos a estudiar y recrear la actividad dentro del centro, por lo que todo lo que suceda fuera de él no será motivo de estudio; por lo tanto, no haremos distinción entre los dos tipos de pedidos mencionados. Para el caso de los pedidos se precisa la siguiente información, que será integrada en la simulación el comienzo de ésta:

- El artículo y cantidad de dicho artículo solicitado, dentro de cada orden de pedido
- La fecha en la que la orden de pedido ya está disponible para ser llevada a cabo por los operarios
- Si el pedido requiere un tratamiento, de qué tipo de tratamiento se trata (seccionadora, canteadora, etc.)

- El tipo de producto del pedido, diferenciando entre tableros y pavimentos. Esta distinción será de gran ayuda en el momento de tratar la orden en el código del sistema de gestión del almacén.

Para el caso de las entradas de mercancía al almacén, se integrarán los siguientes atributos para cada aprovisionamiento, que estará constituido por cada uno de los paquetes que entran al centro logístico:

- El artículo y cantidad de dicho artículo que llega
- El volumen que ocupa cada paquete; de este modo se tendrá una mayor información sobre cada una de las entradas al centro logístico, que nos servirá posteriormente en el tratamiento de las órdenes en el sistema de gestión del almacén.
- La fecha en la que llega cada una de las entradas de mercancías (recordemos que se entiende por una llegada de mercancía a un paquete).
- El tipo de producto del artículo, diferenciando entre tableros y pavimentos, para facilitar el procesamiento de cada orden en el código escrito en el sistema de gestión del almacén.

Una vez leídos los datos con los que se alimenta el modelo, se procede a agrupar las órdenes, según un criterio u otro dependiendo del tipo de órdenes de las que se trate.

Una vez agrupadas las órdenes que lo precisen, se tomarán todas éstas y se lanzarán, una vez se haya cumplido un cierto tiempo entre una orden y la siguiente. Estas órdenes una vez lanzadas ya estarán disponibles para ser ejecutadas por los operarios. La implementación de este tiempo de espera entre orden y orden simula la fecha de llegada, para el caso de entradas de mercancías, y a la fecha en la cual se han mandado las órdenes a los operarios, para el caso de los pedidos. De este modo, si una llegada de mercancías y otra difiere de un día, la segunda llegada de mercancía estará disponible para almacenarla al cabo de un día, no obstante puede ser que en el momento de efectuarse la segunda entrada de material no haya carretillas disponibles y la orden no se trate hasta pasado un cierto tiempo.

Por lo tanto, en este primer bloque del modelo las órdenes son creadas, son agrupadas las que lo requieran y pasan a estar disponibles, pasado un tiempo determinado de espera.

Una vez se han creado las órdenes y han pasado por este primer filtrado, las órdenes que hayan cumplido con el tiempo de espera ya podrán ser atendidas por los operarios. Éste será el segundo bloque del modelo, donde se llevarán a cabo el tratamiento de las órdenes que estén disponibles.

Cuando ya se han creado las entradas al modelo, que tomarán un sentido de órdenes, las órdenes que hayan cumplido el tiempo de demora pasarán a estar disponibles para llevarlas a cabo. Estas órdenes recordamos que son la preparación de pedidos, o bien para distribuir o bien para recoger en almacén, las entradas de mercancía que hay que almacenar y un tercer tipo de órdenes, las llamadas reposiciones, que constituirán órdenes que se irán generando según las necesidades del centro a medida que vaya avanzando la simulación.

Por lo tanto, esta parte del modelo donde se llevarán a cabo las órdenes formará parte del segundo bloque del modelo.

Por lo tanto, en este segundo bloque, el modelo recrea la realización de todas las acciones que se llevan a cabo para cada una de las situaciones establecidas (cuando se realiza un pedido, cuando hay entradas de mercancía o reposiciones de material), teniendo en cuenta todos los panoramas posibles. Este segundo bloque está compuesto por dos ramas; la primera de ellas se ocupa de adjudicar a cada orden una operación, y la segunda rama es la encargada del control de los movimientos de las carretillas en la ejecución de estas operaciones. A continuación se explica más detalladamente en qué consisten estas dos ramas.

En esta segunda etapa del modelo, donde se ejecutan propiamente las órdenes recibidas en este segundo bloque, se distinguen dos submodelos lógicos. El primer submodelo lógico es el encargado de llevar la gestión del almacén, y el segundo se encarga de los movimientos de las carretillas por el almacén. El primer submodelo citado tiene que ser ejecutado antes que el segundo, ya que es indispensable saber dónde dirigirse y que actividad llevar a cabo antes que desplazarse con la carretilla.

El submodelo correspondiente a la gestión del almacén es el encargado de decidir que operaciones efectuar para cada caso. Así pues, si se trata de una

orden de almacenamiento de mercancía, en este submodelo se elige en cuales ubicaciones almacenar dicha mercancía.

Una vez se hayan escogido los movimientos para una mercancía (en el submodelo de gestión de almacén) éstos deberán ser interpretados y simulados por la carretilla; esto se llevará a cabo en el submodelo lógico de movimientos de vehículos en el almacén. En este submodelo se recreará el transporte de las mercancías mediante las carretillas, teniendo en cuenta la distribución en planta del almacén, las restricciones y demás.

Ambos submodelos seguirán una lógica a partir de la cual se guiarán; esta lógica se implementará a partir de un código escrito en Visual Basic, dentro del propio documento del programa de simulación *Arena*, donde se decidirán las operaciones que se deberán realizar, para el caso del primer submodelo, y se decidirán los movimientos que harán las carretillas en el caso del segundo submodelo.

Las entradas de mercancía al almacén, que constituirán los aprovisionamientos, se deberán almacenar o bien en las ubicaciones de *picking* o en las de reserva. Antes del almacenamiento de estas mercancías, se deberá escoger en qué lugar almacenarlas. Este paso será previo a la ejecución de la orden, de este modo, una vez se sepa dónde debe almacenarse la mercancía se llevará a cabo la actividad.

En cuanto a los pedidos, cuando ya se hayan mandado las órdenes a los operarios se podrán empezar a preparar, si se dispone de la cantidad para un artículo pedida. En la preparación de un pedido, se deberá determinar si debe pasar antes por producción, en caso afirmativo antes de ser depositado en las playas de salida pasará por producción. Se almacenarán en una misma playa de salida los pedidos para recoger que sean de un mismo cliente o los pedidos para distribuir que sean de la misma ruta.

En este segundo bloque habrá también cuatro ramas distintas, cada una de las cuales se centrará en la realización de uno de los tres tipos de órdenes, comentados anteriormente. Esta distinción entre tipos de órdenes se ha hecho para facilitar la comprensión y lectura del modelo representado, así como para

trabajar de un modo más ordenado y así localizar más rápidamente los fallos y problemas del modelo diseñado.

Una de las ramas para este segundo bloque del modelo corresponde a la realización de la preparación de pedidos que serán recogidos por el cliente en el almacén. Estos pedidos, una vez efectuados por el cliente y transmitidos a los operarios, pueden empezar a ser atendidos.

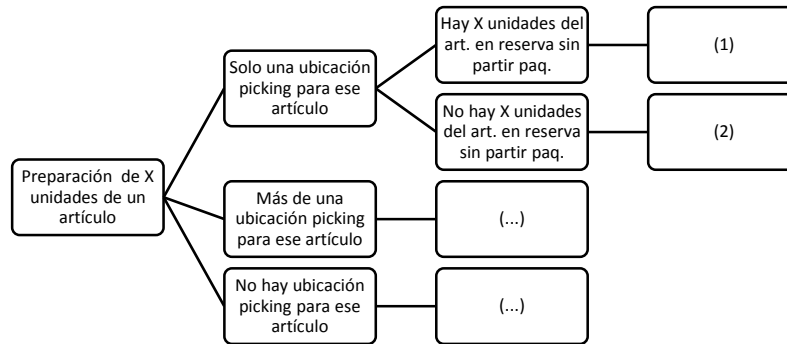
Para la preparación de pedidos, a continuación se expone el método que se utilizará en la representación del modelo.

Para la preparación de pedidos (salida de mercancías), estos serán tratados de igual forma durante su preparación y el proceso que se seguirá. Para este caso, una vez se le haya asignado una ruta de expedición a un pedido para distribución o un cliente haya hecho un pedido para recoger en las instalaciones, la orden de preparación del pedido ya estará disponible para los trabajadores. La preparación de un pedido consistirá en cargar la mercancía que se haya pedido, llevarla a la zona de producción si se precisa y depositarlo en las playas de salida hasta que llegue el vehículo indicado para transportar la mercancía.

Esta preparación de los pedidos, tanto si se recogen en almacén como si son distribuidos por la empresa, consta de las mismas fases. Cuando un operario se dispone a preparar un pedido, la primera fase consiste en localizar las ubicaciones donde se almacenan las unidades del artículo pedido, observar cuantas unidades hay en cada una de estas ubicaciones, e idear una ruta óptima para la preparación.

A continuación se esquematiza, para cada situación posible entre ubicaciones (ya sean de *picking* o reserva) para un mismo artículo, las decisiones que se tomarán en la preparación de un pedido.

Para la preparación de unas unidades determinadas sobre un artículo determinado (se supone siempre el mismo artículo):

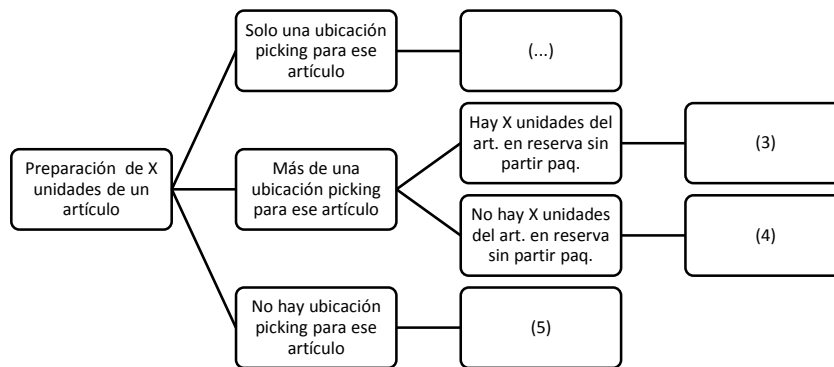


- (1) Coger la combinación de paquetes de las ubicaciones de reserva para ese artículo.
- (2) Coger tantas unidades como se pueda y el resto de unidades de ubicación *picking*.

Cuando se quiera preparar un pedido, lo primero que se mirará es el número de ubicaciones de *picking* que se tienen para ese artículo concreto. Una vez buscada esta información, para el caso de tener una sola ubicación de *picking* se seguirá el siguiente procedimiento. Si se quieren coger X unidades de un artículo concreto, lo primero que se mirará es si se puede atender el pedido solo con unidades de reserva (recordemos que las unidades de reserva se encuentran agrupadas en paquetes); por lo tanto, se comprobará si hay alguna combinación posible de paquetes de unidades para ese artículo que sumen las mismas unidades que las del pedido. Si hay alguna combinación posible, se efectuará la carga de los paquetes correspondientes a esa combinación, produciéndose tantos viajes para el operario como paquetes se deban transportar desde su ubicación hasta la playa de salida (1).

Para el segundo caso (2), cuando no haya una combinación de paquetes que contenga las X unidades justas, se seguirá otro método. Para este caso, se cogerán el mayor número posible de unidades de reserva, haciendo tantos trayectos como paquetes se deban coger. El resto de unidades que se requieran se cogerán de la ubicación de *picking*, si esa ubicación cuenta con el número suficiente de unidades, en caso contrario, se cogerá de otro paquete de reserva dichas unidades y las que sobren se colocarán en la ubicación de *picking* si caben, si no caben se empaquetarán dichas unidades y se almacenarán de

nuevo en ubicación de reserva. Por lo tanto, para el segundo caso se cogerá el mayor número de unidades de la ubicación de reserva, y el resto se cogerá de la ubicación de *picking* si ésta cuenta con las suficientes unidades, sino se cogerá un nuevo paquete y se cogerán de éste las unidades que se precisen.



- (3) Coger la combinación de paquetes de las ubicaciones de reserva para ese artículo.
- (4) Coger tantas unidades como se pueda y el resto de unidades de ubicaciones *picking*.
- (5) Coger unidades de reserva, y las que sobren del último paquete o bien almacenarlas en ubicación de *picking* o bien como reserva.

En este apartado ahora se tiene más de una ubicación de *picking* para el artículo pedido, a diferencia del apartado anterior donde solo se tenía una ubicación de este tipo. En este caso, cuando exista una combinación de paquetes de reserva que sumen la misma cantidad de unidades pedidas (3), se cogerán dichos paquetes. Para la otra situación posible, cuando no haya combinación posible de paquetes que igualen el número de unidades pedidas, se cogerá el mayor número de unidades en paquetes de ubicaciones de reserva; para las unidades que falte coger se mirará si en alguna de las ubicaciones de *picking* de ese artículo hay como mínimo tantas unidades como se necesitan, y en caso afirmativo se cargarán de esa ubicación las unidades que falten (prioritariamente se cogerán de la ubicación más llena, en caso de haber más de una ubicación de *picking* que cumpla con la condición establecida) . Para el caso en que no

haya suficientes unidades en ninguna de las ubicaciones, se optará por coger un nuevo paquete y coger de éste las unidades que falten, almacenando las que no se hayan cogido en una de las ubicaciones de *picking* del artículo (prioritariamente en la ubicación más vacía).

Si el artículo pedido no cuenta con ninguna ubicación de *picking*, se deberán coger todas las unidades de las ubicaciones de reserva. Se buscará la combinación de paquetes que se acerque más al número de unidades que se quieren cargar, en caso de encontrar una combinación que dé las mismas unidades que se quieren, se cargarán esos paquetes. En caso que no haya combinación alguna que dé el mismo número de unidades pedidas, se cogerá el mayor número de unidades posible de ubicaciones de *picking*, y las unidades que sobren del último paquete se almacenarán en una ubicación de *picking*, si el artículo cuenta con alguna ubicación de este tipo, sino se empaquetarán esas unidades de nuevo y se almacenarán en una ubicación de reserva.

Cabe resaltar que si para el artículo solicitado no hay asignada ninguna ubicación de *picking* y se requiere de una ubicación de este tipo, se deberá buscar otra ubicación de *picking* de otro artículo, preferentemente un artículo con poca demanda y que cuente con varias unidades en su ubicación, empaquetar las unidades para este artículo y almacenar el paquete en una ubicación de reserva y, por último, depositar en esta ubicación vaciada las unidades para el artículo que requería de una ubicación de *picking*. Las circunstancias en las que se requerirá tener una ubicación de *picking* (cuando se esté atendiendo un pedido) para un artículo dado se han especificado en el punto anterior.

Puede ser que un mismo artículo tenga más de una ubicación de *picking*, debido a la falta de espacio por alguna de las cuestiones comentadas anteriormente o bien porque se trata de un producto muy solicitado, de modo que las unidades de *picking* para este artículo se localicen en más de un punto y así no provocar colapsos ni agotar las unidades para *picking* de ese producto tan de prisa.

La mercancía si debe pasar por la zona de producción para ser manipulada se enviará a esta última zona antes de ser depositada temporalmente en una de las playas de salida. Si la mercancía solo requiere ser tratada por la seccionadora, preferentemente se enviará a la seccionadora que se encuentra en la zona 1, de



lo contrario, se enviará a la zona 8. Una vez se haya manipulado dicha mercancía se transportará hasta la playa de salida correspondiente.

Otra rama corresponde al almacenamiento de las entradas que se produzcan en el almacén. Esta parte se encargará de almacenar las entradas que se produzcan, fijadas al principio del modelo, ya sean por aprovisionamiento (proveedores) o por pedidos internos.

Las entradas se almacenarán en las ubicaciones de reserva para, de este modo, descargar con la máxima rapidez toda la mercancía del camión (los aprovisionamientos siempre llegan en forma de paquetes, por eso se pueden almacenar en ubicaciones de reserva). Así, el camión dejará libre la plaza que ocupaba en el muelle, para próximos transportes que puedan llegar, y no causar colas y esperas. Las entradas de mercancía suelen producirse en paquetes, por lo que es más rápido almacenarlas en las ubicaciones de reserva, ya que no se requiere desempaquetarlas.

Para el almacenamiento de mercancías en el almacén, tanto si provienen de entradas de proveedor como de comanda interna, a continuación se especifican las decisiones que tomarán para cada una de las situaciones que puede haber.

Para el almacenamiento de estas mercancías, se seguirá un método concreto que se expone a continuación. Cuando una mercancía que llegue en forma de paquete deba almacenarse, prioritariamente se almacenará en una ubicación de reserva; así pues, lo primero que se hará es buscar la ubicación de reserva que se encuentre más vacía. En la ubicación de reserva más vacía será donde se almacenará la mercancía que se desee almacenar. Una ubicación de reserva estará más o menos vacía en función del número de paquetes que haya depositados en esa ubicación. De este modo, todas las ubicaciones estarán ocupadas en la misma proporción, sin haber ubicaciones con gran cantidad de mercancías almacenadas y otras prácticamente vacías. Con esto se pretende que todas las ubicaciones estén aprovechadas por igual, y que no se formen grandes columnas de mercancías almacenadas en algunas ubicaciones, ya que esto ralentiza el tiempo de carga y de descarga de las mercancías en estas ubicaciones y colapsa durante más tiempo es zona del pasillo.

Entrando más en detalle, tanto para las entradas de mercancías (de proveedores o comanda interna) se seguirán los siguientes pasos.

El transporte una vez llega al muelle de carga y descarga, deberá aparcar en una plaza; dependiendo la cantidad de mercancía que lleve consigo el vehículo será de unas dimensiones u otras, por lo tanto, deberá aparcar en un determinado tipo de plazas (de distintas dimensiones). Una vez haya aparcado se deberá llamar a uno o más de un operarios, según la cantidad de mercancía que lleve consigo el transporte, para descargar del vehículo la mercancía y almacenarla en la nave. Es prioritario atender a las entradas de mercancías, en el caso de aprovisionamientos, ya que momentos determinados se pueden acumular varios transportes a la espera de ser descargados, formando colapsos en los muelles y alrededores de las instalaciones, por lo que es primordial atender las necesidades que se crean en este cuello de botella. Una vez llamados los operarios que se requieran, éstos se centrarán en el almacenamiento de estas mercancías llegadas, permaneciendo ocupados hasta que se haya almacenado la totalidad de las mercancías. Cuando se haya acabado de almacenar la totalidad de las mercancías, los operarios volverán a las tareas que les ocupaban o en caso de estar libres procederán a la reposición de ubicaciones de *picking*.

En el almacén cuando no todos los operarios están ocupados preparando pedidos y no hay ni entradas pendientes de almacenar, se aprovechará para reponer las unidades de las ubicaciones de *picking* con las reservas almacenadas. Aunque esta actividad de reposición también se llevará a cabo indirectamente, como se ha visto anteriormente, si en la preparación de un pedido o almacenamiento de mercancías se precisa.

Cada una de las actividades que se deba realizar llevará consigo asignada una prioridad de ejecución; de modo que unas actividades prevalecerán sobre otras. Las órdenes que tendrán mayor orden de prioridad serán el almacenamiento de mercancías del exterior, seguido de la preparación de pedidos. Por último, las reposiciones se llevarán a cabo si no hay entradas pendientes ni pedidos que preparar, y estas reposiciones pueden ser tanto de ubicaciones de reservas a las de *picking* (con la finalidad de reponer este último tipo de ubicaciones), o movimiento de productos de ubicaciones de *picking* a otras de *picking*, con el fin de reorganizar las existencias y ordenar el espacio utilizado.

## ESTRUCTURA DEL MODELO DE SIMULACIÓN:

A continuación se detallará la estructura y las partes de las que se compone el modelo de simulación diseñado. El modelo de simulación se ha hecho a partir de la herramienta *Arena*, una herramienta para simulación de eventos discretos donde las llamadas entidades forman un papel fundamental en la simulación.

A grandes rasgos, el modelo diseñado consta de dos partes, que a su vez se componen por tres partes cada una de ellas; estas dos partes por las que se compone el modelo son por un lado la creación y tratamiento de las órdenes y por otro lado la lectura y procesado de las características que engloban el centro logístico.

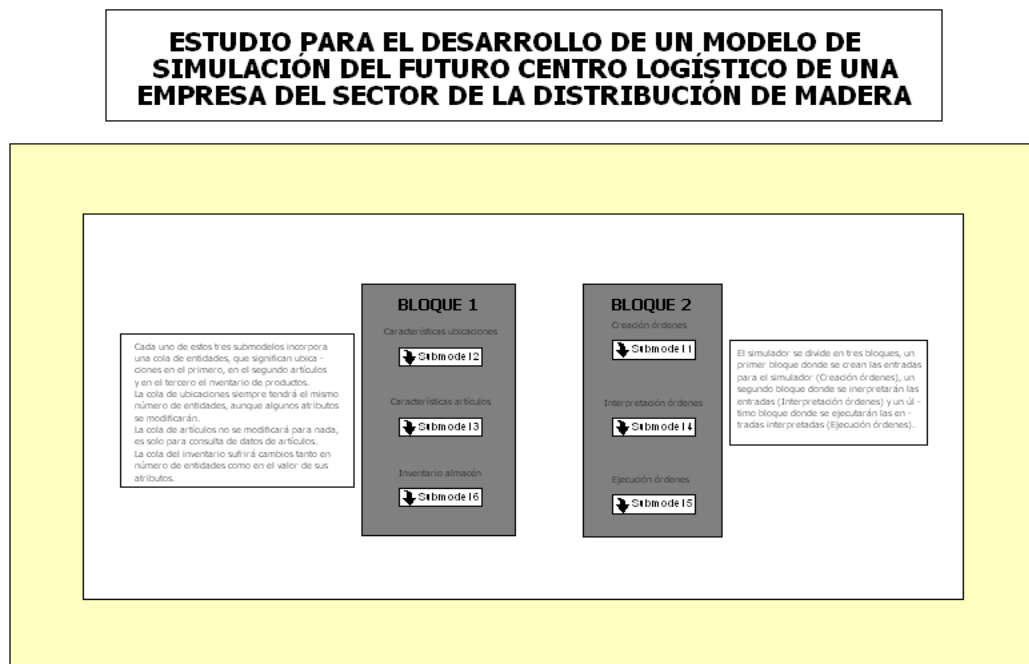


Imagen de la página inicial de modelo de simulación realizado con la herramienta informática *Arena*

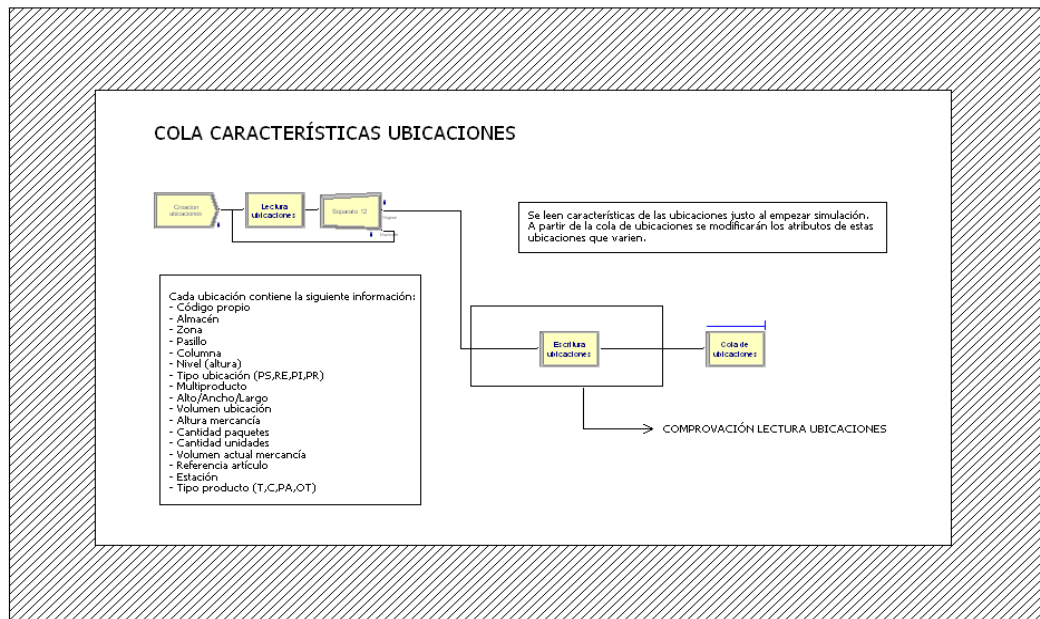
En cuanto a la creación y tratamiento de las órdenes, este bloque es el encargado de generar las órdenes correspondientes a los aprovisionamientos, los pedidos y las reposiciones dentro del centro. Estas órdenes son las que generan el movimiento del simulador y, consecuentemente, la actividad simulada dentro del centro logístico generada por las carretillas.

Este primer bloque, de creación y tratamiento de las órdenes, necesita de la información e interacción de un segundo bloque, ya mencionado anteriormente, el bloque encargado de la lectura y procesamiento de las características necesarias para que las órdenes pertenecientes al primer bloque se lleven a cabo con el mayor realismo y similitud a la realidad. Este segundo bloque se compone por tres partes, que interactúan constantemente entre ellas y con las órdenes creadas en el modelo, y son las siguientes: las características de las ubicaciones, las características de los artículos y el inventario del centro logístico.

En el submodelo correspondiente a las características de las ubicaciones se integra información sobre las ubicaciones que componen el centro logístico. A partir de una importación desde un archivo externo se integran los datos más representativos y característicos de las ubicaciones que conforman el almacén, y esta información es usada por el modelo a medida que se van tratando las órdenes creadas. La información que se integra y almacena en la simulación sobre cada una de las ubicaciones es la siguiente:

- Código propio
- Almacén
- Zona
- Pasillo
- Columna
- Nivel (altura)
- Tipo de ubicación (playa de salida, reserva, *picking* o producción)
- Multiproducto
- Alto / Ancho / Largo
- Volumen de la ubicación
- Altura del producto
- Cantidad de paquetes

- Cantidad de unidades
- Volumen actual que ocupa la mercancía
- Referencia del artículo
- Estación asociada
- Tipo de producto (tableros o pavimentos)



Submodelo correspondiente a las características de las ubicaciones

El submodelo que corresponde a las características de los artículos se encarga de guardar la información de cada uno de los artículos con los que comercializa la empresa y que pasa por su centro logístico. Estos datos son consultados durante la simulación para conocer, por ejemplo, las medidas de un cierto artículo que conforma una entrada de mercancías al almacén para ubicarlo en una ubicación de igual o mayores dimensiones. Los datos que se integra en el modelo de cada uno de los artículos son los siguientes:

- Marca
- Familia
- Subfamilia
- Referencia del artículo

- Grueso / Largo / Ancho
- Volumen por unidad

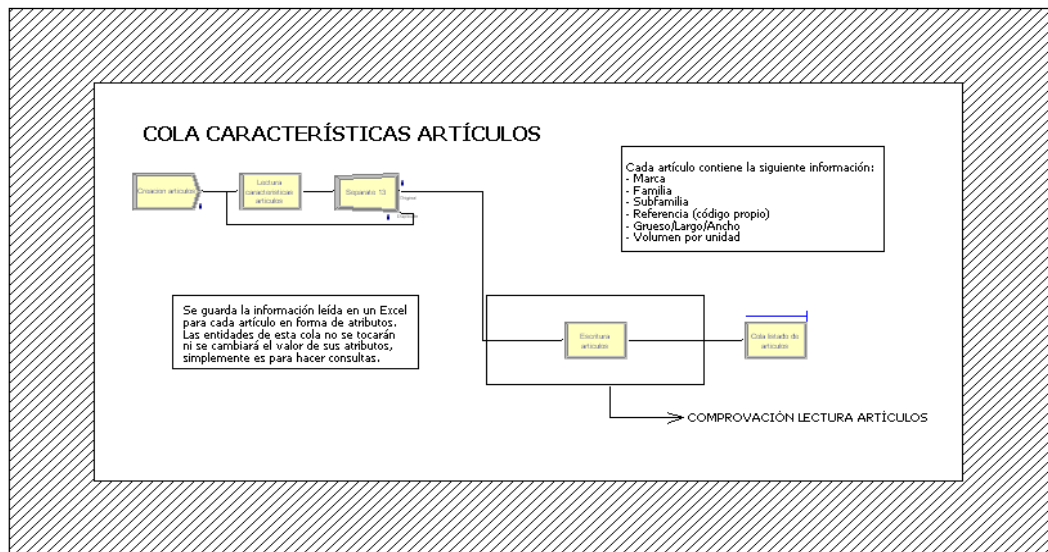


Imagen del submodelo de las características de los artículos, que pertenece al primer bloque del modelo

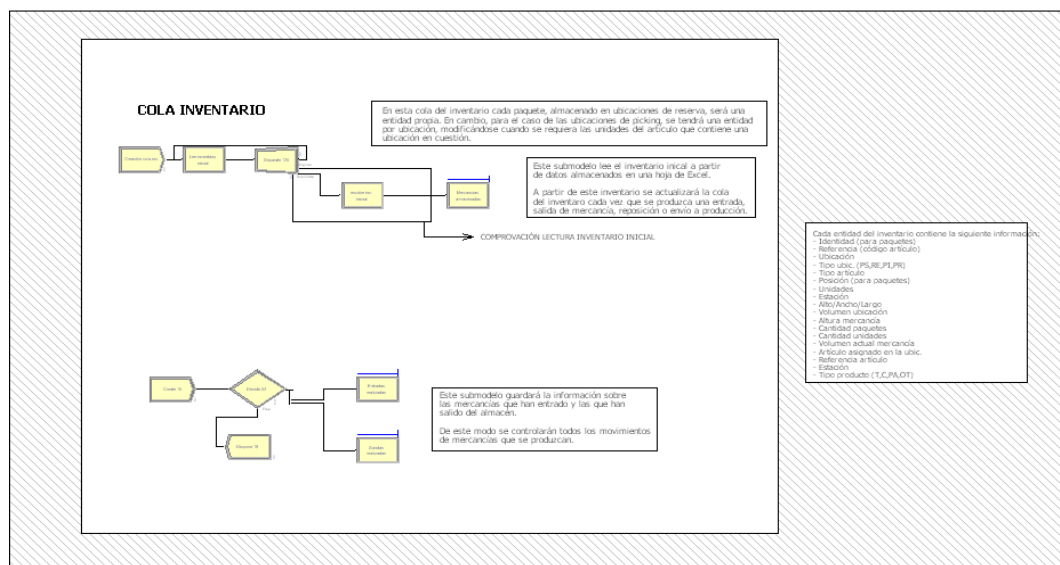
Por último, el tercer submodelo que conforma el bloque de la lectura y procesado de las características del almacén es el del inventario del almacén. En el submodelo del inventario del almacén se integra al inicio de la simulación el inventario inicial con el que se empezará la simulación. En este inventario inicial se integran los productos que hay en cada una de las ubicaciones al comienzo de la simulación, que corresponde con un momento determinado del stock que hay en éste, y proporciona una fotografía de la situación con la que se parte al comienzo de dicha simulación.

A continuación se citan los atributos que son guardados al inicio de la simulación en lo que se refiere al inventario, y con los que la simulación va interactuando durante ella:

- Identidad del paquete
- Referencia del artículo
- Ubicación en el centro
- Tipo de ubicación donde se encuentra el producto
- Tipo de artículo

- Posición que ocupa en la ubicación
- Unidades de la ubicación (solo si se trata de ubicación de *picking*)
- Estación asociada

Estos son los atributos o características que definen el stock en cada instante de la simulación; hay que diferenciar, sin embargo, entre mercancías de reserva y las de *picking* ya que hay algunos de los atributos que solo son usados por uno de los dos tipos de mercancías. En el caso de las mercancías de reserva, éstas se presentan en forma de paquetes, por lo que cada paquete tendrá una única identidad y conformará una entidad en la simulación, en cambio, para el caso de las unidades de *picking* cada ubicación de *picking* conformará una única entidad. El atributo de la posición solo se usará para el caso de paquetes de reserva, y determinará qué lugar ocupa en la ubicación.



Submodelo del inventario del almacén. En este submodelo también se registra toda entrada y salida de mercancía del almacén

Por lo tanto, estas tres partes (recordemos que son las características de las ubicaciones, las características de los artículos y el inventario del almacén) conforman uno de los dos bloques del modelo diseñado. El segundo de los bloques, que es el de la creación y tratamiento de las órdenes, también está compuesto por otros tres submodelos que se detallarán a continuación.

El primer submodelo de este segundo bloque es el encargado de crear las órdenes correspondientes a las entradas de mercancía (aprovisionamientos) y pedidos, y también de gestionar en qué momento son enviadas dichas órdenes para poder ser procesadas. Inicialmente, las órdenes son creadas a partir de una importación de datos a partir de archivos externos (en formato Excel); se genera una importación por un lado de los aprovisionamientos y, por otro lado, de los pedidos. A continuación se detallan los datos que son integrados en la simulación tanto para aprovisionamientos como para pedidos.

Datos que se integran para el caso de los aprovisionamientos:

- Artículo del paquete
- Unidades del paquete
- Volumen del paquete
- Tipo de producto (si es o bien tableros o bien pavimentos)
- Tiempo de demora entre un aprovisionamiento y otro consecutivo

Datos que se integran para el caso de los pedidos:

- Artículo del pedido
- Unidades pedidas
- Tiempo de demora entre un pedido y el siguiente
- Indicador de si requiere el pedido pasar por producción antes de expedirlo
- Tipo de artículo del pedido (si es o bien tableros o bien pavimentos)



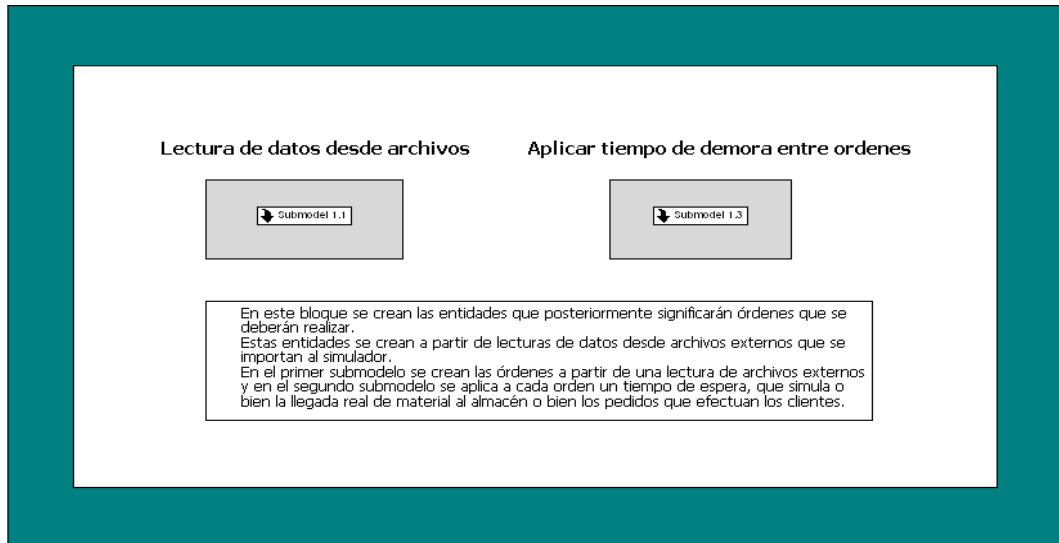


Imagen de la página principal del submodelo de creación de órdenes, dentro del segundo bloque del modelo

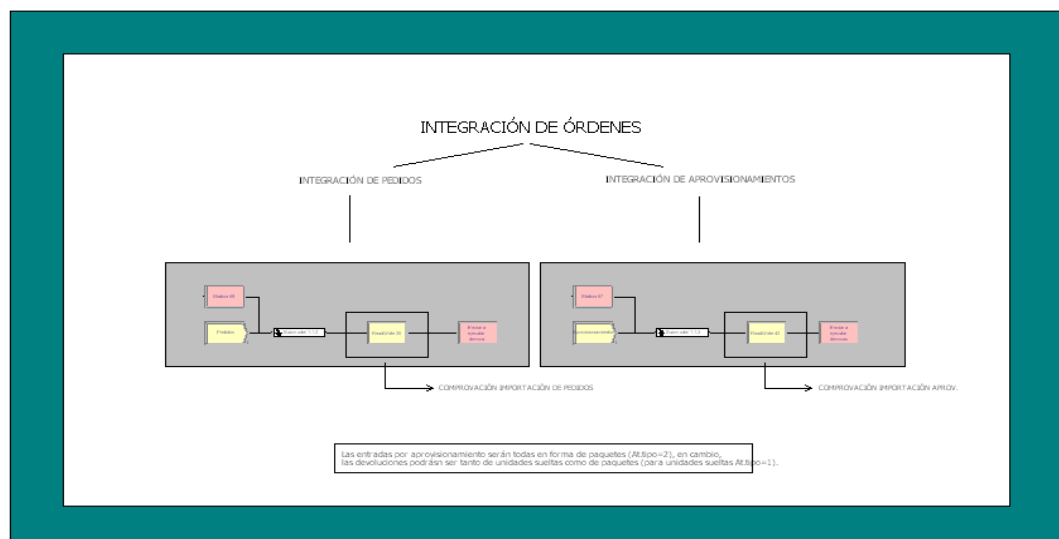


Imagen del modelo de integración de órdenes, situado dentro del submodelo de creación de órdenes

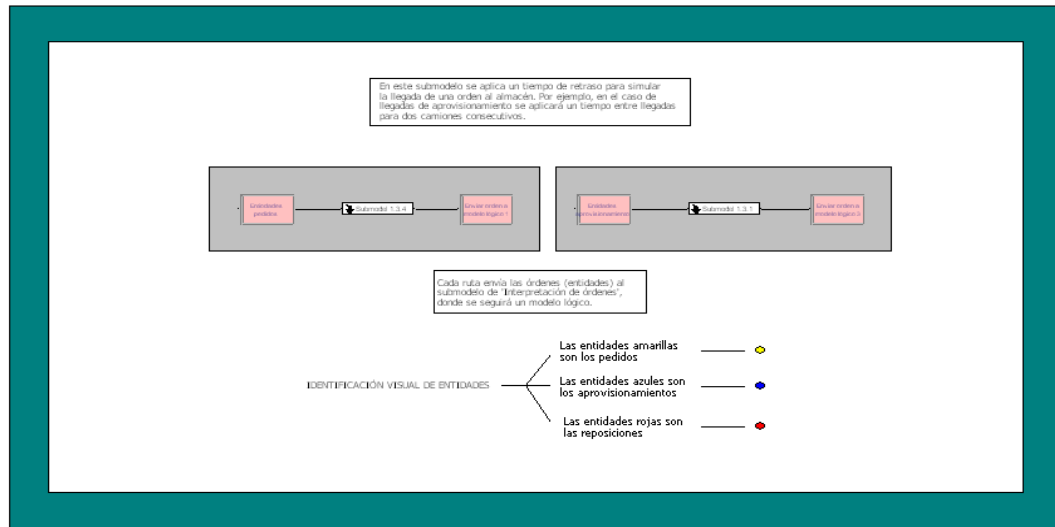
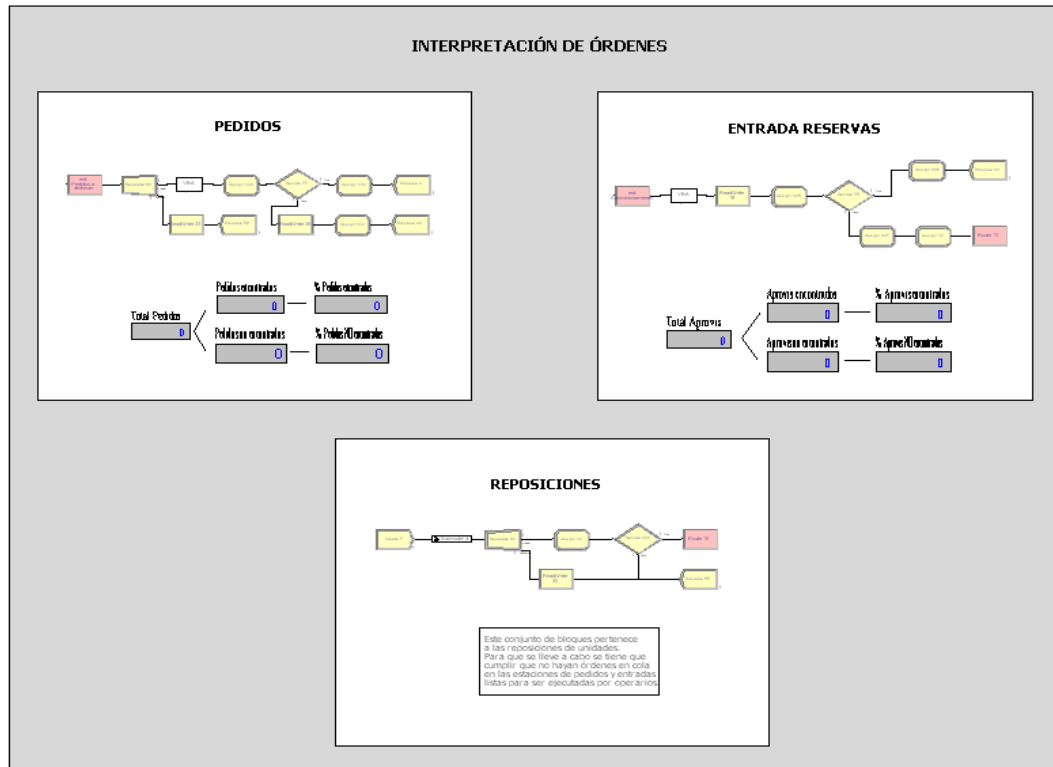


Imagen del modelo de demora de órdenes, situado dentro del submodelo de creación de órdenes

Éstos son los atributos que cada una de las entidades de la simulación, que cobran el sentido de orden, tiene grabados y que serán usados durante toda la simulación hasta que la orden se haya ejecutado. Una vez se ha creado una orden, y ésta ha efectuado la demora indicada, simulando de este modo la llegada real de la orden, esta orden es enviada al segundo submodelo que conforma este segundo bloque del modelo; este segundo submodelo es el llamado submodelo de interpretación de órdenes.

Este segundo submodelo del segundo bloque es el encargado de leer la información que lleva cada una de las órdenes, de interpretarla y obtener unos resultados, que posteriormente serán leídos y con los que se efectuará el movimiento de mercancías dentro del centro logístico.

Este submodelo de interpretación de órdenes está constituido por tres partes, una de ellas interpreta las órdenes que se refieren a pedidos, otra es la encargada de interpretar las órdenes de entradas de mercancías y, por último, una tercera parte es encargada de generar órdenes de reposiciones de mercancía. Las reposiciones son órdenes creadas en función del movimiento de mercancías generado por los pedidos y los aprovisionamientos, por lo que en ausencia de movimientos en el almacén no se generarían reposiciones para ejecutar.



Modelo principal del submodelo correspondiente a la interpretación de órdenes, entre las cuales se distinguen los pedidos, los aprovisionamientos y las reposiciones

Este submodelo es el encargado de proporcionar una ubicación de origen y otra de destino para cada una de las órdenes, con el fin de poder reflejar el movimiento de mercancías en el centro llevado a cabo por las carretillas. Por lo tanto, cada entidad (orden) después de haber pasado por este submodelo llevará consigo una nueva información, a parte de la que ya tenía, que será la ubicación de origen y de destino de aquella mercancía. Para poder simular el movimiento, cada una de las ubicaciones está asociada a una estación determinada dentro del modelo, que hace posible el movimiento de la carretilla en la simulación.

Con tal de poder interpretar, saber leer la información que lleva cada una de las órdenes y poder tomar una decisión sobre cuál será el recorrido de dicha orden y qué mercancía y cantidad se moverá es necesario el uso de un modelo lógico que sepa analizar y descifrar cada una de las órdenes. Este submodelo, por lo tanto, integra un modelo lógico para poder analizar y tomar decisiones sobre cada una de las órdenes que se crean en el modelo. En concreto, hay tres

modelos lógicos encargados de este sistema de gestión del almacén, uno para las órdenes correspondientes a los pedidos, otro para los de aprovisionamientos y un último para las órdenes de reposiciones. Este modelo lógico que se ha integrado en la simulación se ha hecho a partir de una herramienta proporcionada por el programa de simulación utilizado, el llamado *Arena*, con la cual puede escribirse un código utilizando Visual Basic. Usando esta herramienta se ha codificado un modelo lógico en Visual Basic, por el que toda orden es leída e interpretada.

Por último, hay un tercer submodelo dentro de este segundo bloque que es el encargado de ejecutar las órdenes que ya han sido procesadas en el submodelo de interpretación de órdenes. Este modelo encargado de ejecutar las órdenes y, por consiguiente, generar el movimiento de las carretillas y de las mercancías dentro del centro logístico está formado por dos partes. La primera parte es la encargada de gestionar en qué instante y lugar hay que mandar cada una de las órdenes que están listas para ser ejecutadas, y en el modelo diseñado toma el nombre de 'Cola de órdenes para realizar'. La segunda parte que compone este último submodelo es la llamada 'Ejecución de órdenes', donde finalmente se genera el movimiento entre dos ubicaciones generado por las carretillas.

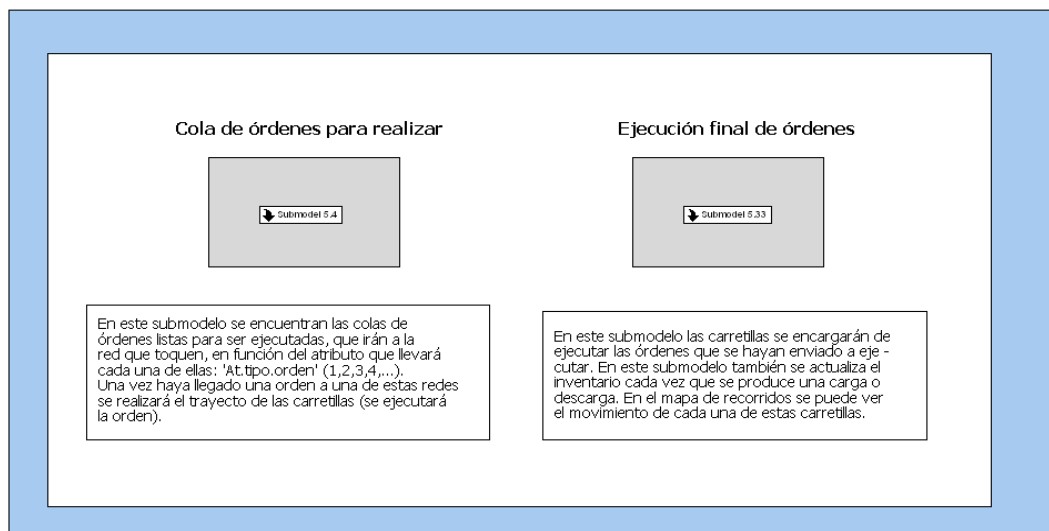
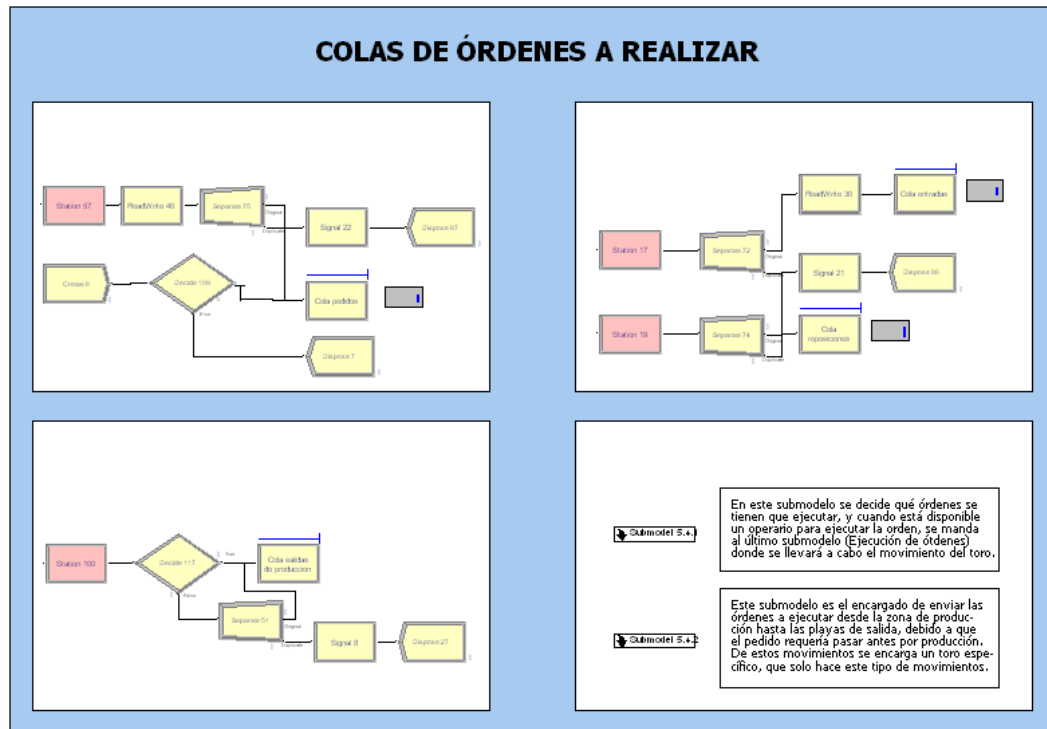


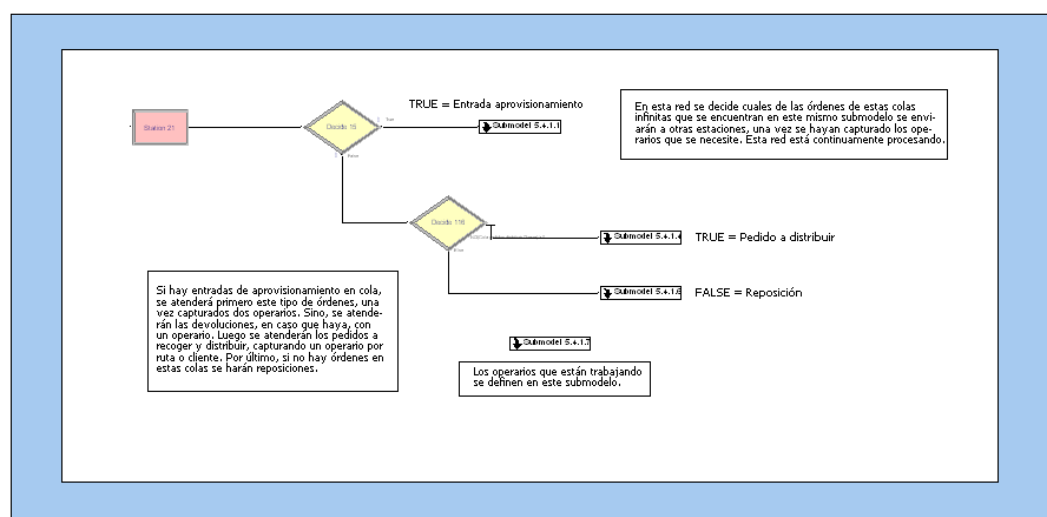
Imagen extraída de Arena que corresponde a los dos conjuntos que conforman el submodelo de ejecución de órdenes

En la imagen que se muestra a continuación, se muestra el modelo diseñado correspondiente a la parte de 'Cola de órdenes a realizar' dentro del submodelo de ejecución de órdenes.

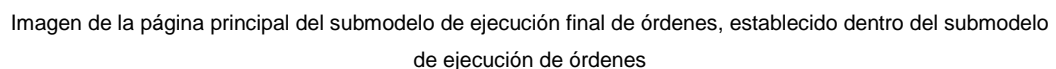


Las entidades (órdenes que en este punto ya están listas para ser ejecutadas por los toros) son almacenadas en estas colas que se observan en este submodelo, que llegan desde del anterior modelo lógico 'Interpretación de órdenes'. Estas colas son infinitas, donde se esperarán hasta que el modelo lógico que se ha escrito en el submodelo de esta hoja elija cuales entidades se envían a la estación 'Cola ejecución Tipo 1', 'Cola ejecución Tipo 2', 'Cola ejecución Tipo 3', 'Cola ejecución Tipo 4', 'Cola ejecución Tipo 5' o 'Cola ejecución Tipo 6' dependiendo del tipo de orden que se la entidad (1,2,3,4,5,6), y se ejecutarán.

Imagen de una de las partes que forman el submodelo de ejecución de órdenes



Modelo que corresponde al submodelo de ejecución de órdenes, donde se establecen las preferencias a la hora de escoger las órdenes a ejecutar

[illegible]

## 12. PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN

Antes de empezar el presente estudio se plantearon una serie de tareas y actividades que debían seguirse pautada y ordenadamente con tal de llegar a los resultados que se querían, es decir, la realización de un modelo de simulación base sobre el cual se podrá trabajar posteriormente para el nuevo *layout* del futuro centro logístico de la empresa.

La primera tarea que se llevó a cabo fue la obtención de información para obtener los conocimientos suficientes para poder desarrollar el estudio presente con las competencias suficientes. La obtención de información consistió en obtener todos los conocimientos básicos para poder desempeñar el estudio sobre el funcionamiento de la empresa. Aprender el funcionamiento del centro logístico fue una tarea que conllevó un cierto tiempo, ya que su actividad es compleja y con situaciones muy distintas.

Una vez se aprendieron todos los conocimientos sobre el funcionamiento del centro, la tarea siguiente fue la de conocer más a fondo la herramienta *Arena*, el programa de simulación utilizado en el estudio presente. Esta tarea también se llevó a cabo paralelamente al aprendizaje de modelos de redes de Petri, muy utilizados en la recreación de modelos de eventos discretos y una herramienta muy visual y entendible que ayuda a resolver problemas que puedan surgir en la realización del modelo. En cuanto al aprendizaje de la herramienta *Arena*, me ayudé para ello de tutoriales y ejemplos didácticos con los que fui conociendo todas las posibilidades y utilizaciones de esta herramienta. También fue vital la ayuda de libros para entender el funcionamiento de determinados elementos del programa, así como la ayuda de personas con un gran conocimiento sobre esta herramienta, como es el caso de mi tutor. Esta tarea del aprendizaje del programa *Arena* fue relativamente rápida, ya que este programa ya fue utilizado en la asignatura de *Modelado y Simulación*, por lo que ya se partió desde una base.

Una vez efectuada esta tarea, se procedió a la elaboración del modelo mediante la herramienta *Arena*. Esta actividad se elaboró conjuntamente con la recogida de datos y archivos facilitados por la empresa, con el fin de realizar pruebas basándonos en la actividad real de la empresa. Esta última tarea de recopilación

de archivos fue complicada, ya que adecuar la información de que la empresa dispone con las necesidades de la simulación no fue trabajo fácil.

El modelo de simulación se fue desarrollando junto con el apoyo y ayuda del tutor y manteniendo una relación estrecha con la empresa, con la finalidad de elaborar una simulación concorde las necesidades y preferencias de la empresa. La elaboración del modelo en *Arena* tuvo una duración mayor de la programada, debido a la complejidad del estudio y al tratarse de un tipo de estudio totalmente nuevo y desconocido hasta ahora por mi parte. Por lo tanto, una mayor profundización en el aprendizaje de *Arena* hubiera acelerado esta última tarea y haberla finalizado en el plazo indicado.

Una vez se acabó el modelo, éste se revisó y se comprobó su funcionamiento con entrada de datos facilitados por la empresa, comprobando su correcto funcionamiento y si cumplía con los objetivos marcados. También se acabó de redactar la memoria, trabajo que empezó desde el inicio del estudio, plasmando de este modo todos los conocimientos obtenidos en el transcurso del presente estudio y todas las actividades realizadas.

La tarea correspondiente a la verificación y comprobación de un buen funcionamiento del modelo debería haber sido más exhaustiva y más completa, aunque debido a la ajustada planificación no se ha podido profundizar en este importante punto. Por lo tanto, se deberá profundizar en este aspecto una vez finalizado el presente estudio, con el fin de afrontar con garantías la segunda parte de este proyecto, que se corresponderá con idear una nueva distribución en planta para el futuro centro logístico de Polinyà.

Se finaliza este punto concluyendo que la programación escogida ha sido la correcta, partiendo de un aprendizaje del funcionamiento de la empresa, que ha servido de base para poder realizar un estudio con garantías. Posteriormente, la instrucción y formación en la herramienta *Arena* junto con las redes coloreadas de Petri ha permitido la elaboración del modelo de simulación. Por último, el modelo de simulación se ha realizado paulatinamente, empezando con pequeños modelos e identificando todas sus partes.



### **13. CONCLUSIONES**

El presente estudio ha servido para obtener grandes conocimientos en materia de logística, gracias al aprendizaje del funcionamiento de la actividad de la empresa con la que se ha realizado el estudio.

Se ha profundizado también en el uso de la herramienta *Arena*, una herramienta informática con la cual se pueden realizar simulaciones basadas en sistemas de eventos discretos.

Respecto la formación y conocimientos que se esperaban asimilar del funcionamiento de la empresa, para llevar a cabo un estudio con plenas garantías y buen conocimiento, se llega a la conclusión que esta tarea ha conllevado mayor tiempo de lo planificado aunque finalmente se han obtenido todos los conocimientos deseados.

Analizando la información facilitada por parte de la empresa, con la finalidad de usarla para la simulación, se llega a la conclusión que, aunque la información recibida es de utilidad para la simulación, la facilitación de mayor información y datos hubieran facilitado y acelerado el diseño del modelo. Por información, se refiere a datos sobre movimientos de mercancías del centro logístico, con los que poder realizar la simulación.

Por lo que se refiere al modelo de simulación diseñado, una vez analizado y examinado, se considera que se han distinguido y separado correctamente cada una de las partes que compone el modelo, separando de tal modo el modelo en dos grandes bloques, uno que integra las características del centro logístico y otro que crea y procesa las órdenes. Esta estructuración del modelo de forma ordenada y clara ha facilitado el diseño de éste, así como la detección de problemas y fallos que puedan surgir en el modelo construido.

Por otra parte, el código escrito en el modelo que simula un sistema de gestión del almacén consta de partes fundamentales en la simulación y es el encargado de las tomas de decisiones en la simulación. No obstante, no se ha revisado lo suficiente por parte de la empresa con la finalidad de comprobar que el modelo se asemeje en lo mayor posible a la realidad; por lo tanto, un mayor conocimiento por parte de la empresa sobre el sistema de gestión del almacén ayudaría a detectar posibles errores o mejoras en el código realizado.

Otro punto que se considera que tendría que reforzarse y profundizar en él es el de la validación y verificación del modelo de simulación diseñado. Debido a los plazos tan ajustados para las tareas que se han llevado a cabo en el presente estudio, no se ha podido centrar toda la atención que se pretendía con la comprobación exhaustiva del correcto funcionamiento del modelo. Por lo tanto, se llega a la conclusión que, antes de empezar con la segunda parte del estudio, se deberá revisar y comprobar más detalladamente el modelo actual.

## 14. BIBLIOGRAFÍA

### BIBLIOGRAFÍA

- Pazos, Suarez, Diaz (2003). *Teoria de colas y simulación de eventos discretos*. Pearson Educacion.
- Jaume Figueras Jové, Miguel Angel Piera, Antonio Guasch Petit (2003). *Modelado y simulación: Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. Politext, Universitat Politecnica de Catalunya, Iniciativa Digital Politecnica.
- G. W. Brams (1986). *Redes de Petri Modelización y Aplicaciones (Tomo 2)*. Masson SA
- Rodrigo Wadnibar Rojas, Alfonso Mancilla Herrera, Aldo Fábregas Ariza, Carlos Paternina Arboleda (2003). *Simulación de Sistemas Productivos con Arena (Ebook)*. Universidad del Norte.
- W. David Kelton, Randall Sadowski (2009). *Simulation with Arena*. Unabridged.
- Kelton. W. David (2010). *Simulation with Arena / W. David Kelton, Randall P. Sadowaki, David T. Sturrock*. 5ª edición. Boston: McGraw-Hill.
- Tayfur Altioik, Benjamin Melamed (2007). *Simulaton modeling and analysis with Arena*. Boston: Academic Press.

### WEBGRAFÍA

- Arena Simulation Software. Disponible en:  
<https://www.arenasimulation.com/>
- Universidad de Oviedo. *Simulación de problemas de colas con Arena*. Disponible en:  
<http://gio.uniovi.es/documentos/asignaturas/descargas/practicasaRENAre sueltas.pdf>
- PILOT. *Logística de almacenes. Manual de almacenes*. Disponible en:  
<http://es.scribd.com/doc/3746404/Logistica-Almacenes-1#scribd>
- Jorge Eduardo Ortiz Triviño. *Simulación con Arena*. Disponible en:  
[http://disi.unal.edu.co/profesores/jeortizt/Sim/Archivos/02.Arena/02B.%20CursoARENA\\_2\\_PanelBasico\\_ConSolucionDeEjercicios.pdf](http://disi.unal.edu.co/profesores/jeortizt/Sim/Archivos/02.Arena/02B.%20CursoARENA_2_PanelBasico_ConSolucionDeEjercicios.pdf)
- Universidad Nacional del Santa (2009). *Práctica de Simulación con Arena*. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/19374810/Practica-de-Simulacion-con-Arena#scribd>

- Lic. Rafael Fernando Hernandez Muñoz. *Libro de Logística de Almacenes*. Disponible en:  
<http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2189.pdf>
- UMB Virtual. *Tecnología de manipulación y almacenamiento: Introducción a la gestión de los almacenes*. Disponible en:  
<http://virtualnet2.umb.edu.co/cursos/000054/mod1/pdf/pdf.pdf>

